



“DIMENSIONADO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR PARA AGUA CALIENTE SANITARIA EN CÁCERES”.

Pablo Arroyo Carbonero

Tutor: María del Carmen Rodríguez Hidalgo.
Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos.
Universidad Carlos III de Madrid.

INDICE

| | |
|---|------------|
| INDICE..... | 3 |
| 1. INTRODUCCIÓN AL PROYECTO..... | 5 |
| 1.1. LA ENERGÍA SOLAR..... | 7 |
| 1.1.1. UNA ENERGÍA GARANTIZADA PARA 6.000 MILLONES DE AÑOS..... | 7 |
| 1.1.2. SITUACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR EN ESPAÑA..... | 9 |
| 1.1.3. PLAN DE ENERGÍAS RENOVABLES DE EXTREMADURA Y PETER..... | 18 |
| 1.2. OBJETO DEL PROYECTO..... | 22 |
| 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS..... | 25 |
| 2.1. ENERGÍA SOLAR..... | 27 |
| 2.1.1. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA DISPONIBLE. RADIACIÓN..... | 27 |
| 2.2. INSTALACIONES DE AGUA CALIENTE SANITARIA (A.C.S.)..... | 34 |
| 2.2.1. SISTEMA SOLAR TÉRMICO..... | 34 |
| 2.2.1.1. SISTEMAS DE OBTENCIÓN DE ACS..... | 35 |
| 2.2.1.2. SUBSISTEMAS DEL SISTEMA DE OBTENCIÓN DE ACS..... | 38 |
| 2.2.2. CONFIGURACIÓN DE INSTALACIONES DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA..... | 49 |
| 2.2.2.1. GENERALIDADES..... | 49 |
| 2.2.2.2. TIPOS BÁSICOS DE INSTALACIONES..... | 49 |
| 2.2.2.3. CIRCUITOS PARA A.C.S..... | 53 |
| 3. DIMENSIONADO PREVIO DE LA INSTALACIÓN..... | 57 |
| 3.1. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO..... | 59 |
| 3.2. DATOS DE PARTIDA..... | 61 |
| 3.2.1. CONDICIONES DE USO DE LA INSTALACIÓN. CONSUMO DE A.C.S..... | 62 |
| 3.2.2. DATOS CLIMATOLÓGICOS..... | 69 |
| 3.2.3. DATOS GEOGRÁFICOS..... | 77 |
| 3.3. DEMANDA ENERGÉTICA DE A.C.S..... | 78 |
| 3.4. CÁLCULO DE LA SUPERFICIE CAPTADORA..... | 80 |
| 3.4.1. ESQUEMA GENERAL DE LA INSTALACIÓN..... | 80 |
| 3.4.2. PROCESO DE CÁLCULO..... | 81 |
| 3.4.3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES DEL CÁLCULO PREVIO..... | 105 |
| 3.5. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE ACUMULACIÓN DE A.C.S..... | 108 |
| 4. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN | 111 |
| 4.1. CIRCUITO PRIMARIO..... | 115 |
| 4.1.1. COLECTORES SOLARES..... | 115 |
| 4.1.1.1. GENERALIDADES..... | 115 |
| 4.1.1.2. RENDIMIENTO DEL COLECTOR..... | 117 |
| 4.1.1.3. DESCRIPCIÓN DE LOS COLECTORES ELEGIDOS PARA EL PROYECTO..... | 118 |
| 4.1.1.4. UBICACIÓN Y DISPOSICIÓN DE LOS COLECTORES SOLARES..... | 121 |
| 4.1.2. FLUIDO CALOPORTADOR..... | 125 |
| 4.1.3. TUBERÍAS..... | 132 |
| 4.1.4. PÉRDIDAS DE TEMPERATURA EN TUBERÍAS..... | 137 |
| 4.1.5. OTROS CÁLCULOS Y CONCLUSIONES OBTENIDAS..... | 188 |
| 4.1.6. VASO DE EXPANSIÓN..... | 193 |
| 4.1.7. AEROTERMO..... | 197 |
| 4.1.8. BOMBA DE CIRCULACIÓN (ELECTROCIRCULADORES)..... | 199 |
| 4.1.9. OTROS ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN..... | 210 |



| | | |
|------------|--|------------|
| 4.2. | CIRCUITO SECUNDARIO | 215 |
| 4.2.1. | <i>PROBLEMÁTICA DE LA LEGIONELA EN LAS INSTALACIONES DE A.C.S.</i> | 215 |
| 4.2.2. | <i>ACUMULADORES</i> | 220 |
| 4.2.2.1. | ACUMULADORES SOLARES | 220 |
| 4.2.2.2. | ACUMULADORES DE CALDERA | 224 |
| 4.2.3. | <i>INTERCAMBIADOR DE CALOR</i> | 226 |
| 4.2.4. | <i>SISTEMA DE ENERGÍA AUXILIAR</i> | 232 |
| 4.2.5. | <i>BOMBA DE CIRCULACIÓN</i> | 237 |
| 4.2.6. | <i>TUBERÍAS</i> | 240 |
| 4.2.7. | <i>OTROS ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN</i> | 240 |
| 4.3. | SISTEMA DE CONTROL Y REGULACIÓN DE LA INSTALACIÓN | 242 |
| 4.3.1. | <i>TIPOS</i> | 246 |
| 5. | IMPACTO MEDIOAMBIENTAL | 251 |
| 5.1. | ASPECTOS AMBIENTALES | 253 |
| 5.2. | AHORRO DE COMBUSTIBLE | 256 |
| 5.3. | EMISIONES DE CO ₂ EVITADAS | 258 |
| 6. | ESTUDIO ECONÓMICO..... | 263 |
| 6.1. | PRESUPUESTO | 268 |
| 6.2. | SUBVENCIONES | 274 |
| 6.2.1. | <i>OBJETO DE LAS SUBVENCIONES</i> | 274 |
| 6.2.2. | <i>BENEFICIARIOS</i> | 275 |
| 6.2.3. | <i>ANEXO SOBRE ACTUACIONES SUBVENCIONABLES</i> | 276 |
| 6.2.4. | <i>CUANTÍA DE LA SUBVENCIÓN</i> | 279 |
| 6.3. | PERIODO DE AMORTIZACIÓN | 280 |
| 7. | MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES SOLARES | 283 |
| 7.1. | PLAN DE VIGILANCIA | 286 |
| 7.2. | PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO..... | 287 |
| 7.3. | MANTENIMIENTO CORRECTIVO | 290 |
| 8. | RESUMEN Y CONCLUSIONES | 291 |
| 8.1. | RESUMEN | 293 |
| 8.2. | CONCLUSIONES | 296 |
| 8.2.1. | <i>CÁLCULO DE DISEÑO</i> | 296 |
| 8.2.2. | <i>OTROS CÁLCULOS ENSAYADOS</i> | 299 |
| 8.2.3. | <i>CONCLUSIONES GENERALES</i> | 300 |
| 9. | BIBLIOGRAFÍA..... | 303 |
| 10. | ANEXOS..... | 307 |
| 10.1. | ANEXO 1 | 309 |
| 10.2. | ANEXO 2 | 315 |
| 10.3. | ANEXO 3 | 324 |
| 10.4. | ANEXO 4 | 330 |
| 10.5. | ANEXO 5 | 375 |



1. INTRODUCCIÓN.



1. INTRODUCCIÓN AL PROYECTO

1.1. LA ENERGÍA SOLAR

1.1.1. UNA ENERGÍA GARANTIZADA PARA 6.000 MILLONES DE AÑOS:

El Sol, fuente de vida y origen de las demás formas de energía que el hombre ha utilizado desde los albores de la historia, puede satisfacer todas nuestras necesidades, si aprendemos cómo aprovechar de forma racional la luz que continuamente derrama sobre el planeta. Ha brillado en el cielo desde hace unos cinco mil millones de años, y se calcula que todavía no ha llegado ni a la mitad de su existencia.

Al principio de la explotación de los combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón mineral) estos se consideraban ilimitados y su impacto ambiental despreciable. El extraordinario crecimiento de la población mundial, junto a la mayor dependencia de dichos combustibles y al aumento del consumo per cápita de estos recursos, ha propiciado que sólo queden reservas de petróleo disponibles para su explotación económica durante la primera mitad del siglo XXI.

Por otro lado, el consumo masivo de hidrocarburos está produciendo alteraciones en la atmósfera a nivel mundial; cada vez aumentan más los niveles de dióxido de carbono que produce el conocido efecto invernadero y por tanto, las temperaturas promedio mundiales cada vez suben más.

Ya desde hace algunos años, se hace más patente la necesidad de buscar alternativas energéticas que no supongan un deterioro del medioambiente. Entre ellas, la energía solar es una buena candidata.

Durante el presente año, el Sol arrojará sobre la Tierra **cuatro mil veces** más energía que la que vamos a consumir.



Ante este panorama la energía solar se nos presenta como una alternativa para la producción de energía útil haciendo posible el desarrollo sostenible, y sería poco racional no intentar aprovecharla.

Las ventajas del uso de la energía solar son numerosas, el sol es fuente de energía inagotable, renovable, gratuita y está repartida por todo el planeta. Su uso no contamina en absoluto. Es la forma energética más respetuosa con el medio ambiente y al ser inagotable reduce la dependencia energética de las energías fósiles y contaminantes. Su implantación no afecta a la calidad del aire ni de los suelos. Las instalaciones solares son silenciosas, limpias y con una larga vida útil (entre 20 y 30 años). Así mismo facilita el autoabastecimiento y permite generar energía cerca de dónde se necesita sin necesidad de costosas infraestructuras para su transporte.

Es preciso, no obstante, señalar que existen algunos problemas que debemos afrontar y superar. Hay que tener en cuenta que esta energía está sometida a continuas fluctuaciones y a variaciones más o menos bruscas. Así, por ejemplo, la radiación solar es menor en invierno, precisamente cuando más la solemos necesitar.

1.1.2. SITUACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR EN ESPAÑA

Durante la última década, la Unión Europea, a fin de reducir el consumo de energías contaminantes e incrementar el uso de energías renovables como la energía solar, ha adoptado importantes decisiones sobre política energética. Así, para el año 2010, la Unión Europea estableció como objetivo para todos los países que la constituyen, que las emisiones de gases productores del efecto invernadero se redujesen en un 15%. Además, exige que el 12% de las fuentes de energía de todos los estados sean renovables.

Como respuesta a estos objetivos, España estableció el Plan de Fomento de las Energías Renovables (2000-2010). Dicho Plan presenta como objetivo general lograr que en el año 2010 el 12,1% del total de la energía consumida en España provengan de fuentes de energías renovables. Años después, sufrió una revisión que dio lugar al Plan de Energías Renovables en España (PER) 2005-2010. Con esta revisión, se pretende mantener el compromiso de cubrir al menos el 12% del consumo total de energía en 2010 con fuentes renovables, así como de incorporar otros dos objetivos indicativos como son: que el 29,4% de generación eléctrica provenga de energías renovables y que el 5,75% de los carburantes empleados en transporte, para este año, sean biocarburantes; adoptados con posterioridad al anterior plan. El Plan ha sido diseñado con el propósito de reforzar la garantía de la seguridad y calidad del suministro eléctrico y el respeto al medio ambiente, siendo estos los objetivos prioritarios de la política energética del Gobierno, y con la determinación de dar cumplimiento a los compromisos de España en el ámbito internacional (Protocolo de Kioto, Plan Nacional de Asignación), y a los que se derivan de nuestra pertenencia a la Unión Europea.

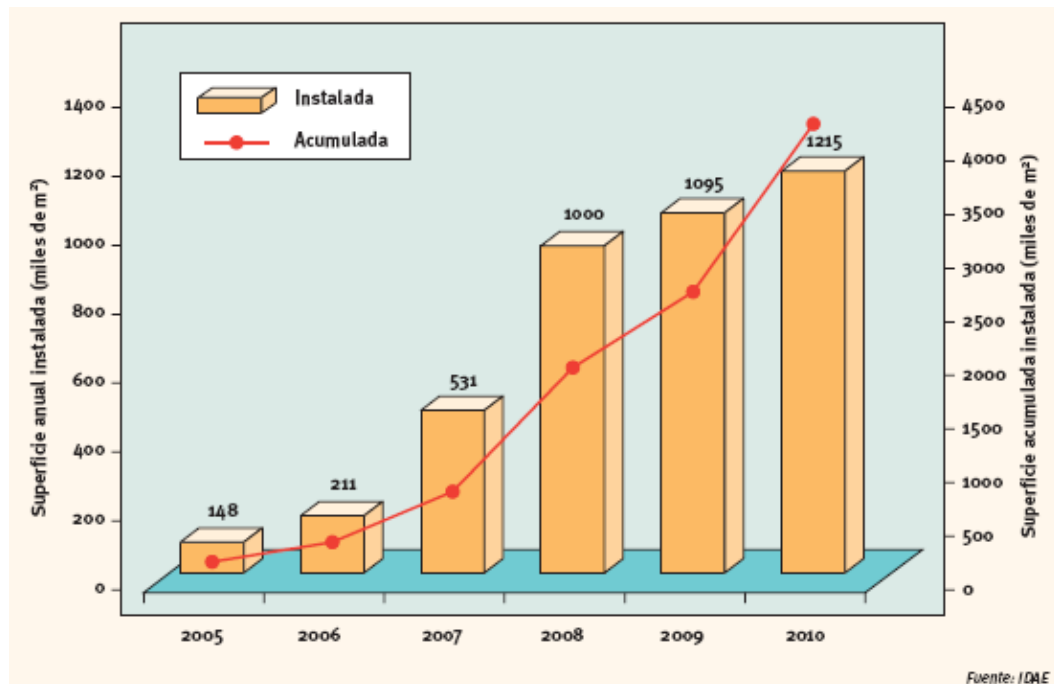


Figura 1.1. Superficie acumulada instalada en la Unión Europea (Fuente: IDAE)

Por otra, el parte el 28 de Noviembre de 2003 el Gobierno aprobó La Estrategia de ahorro y Eficiencia Energética en España (E4) 2004-2012, que marcó un escenario sobre los potenciales de ahorro y las medidas a llevar a cabo al objeto de mejorar la intensidad energética de nuestra economía e inducir un cambio de convergencia hacia los compromisos internacionales en materia de medio ambiente. Sobre esta Estrategia se concretó un Plan de Acción para el periodo 2005-2007, con concreción en las medidas e instrumentos a activar en dicho periodo, la financiación del mismo y los objetivos energéticos y medioambientales a lograr en dicho periodo.

El 20 de Julio de 2007, fue aprobado un nuevo Plan de Acción, para el periodo 2008-2012. Este nuevo Plan supone una continuación del anterior, tratando de complementarlo siguiendo la misma línea de aquella Estrategia, pero centrándose en los sectores de transporte y edificación, y dedicándole especial atención a aspectos de normativa y económicos. A este nuevo plan se le denomina Plan de Acción de la E4 Plus (PAE4+).

La Unión Europea, en paralelo con esas Estrategias nacionales, ha seguido diseñado políticas en esa misma dirección. De este modo, la Directiva 2006/32/EC, sobre eficiencia en el uso final de la energía y los servicios energéticos, establece un marco de esfuerzo común para conseguir un ahorro de un 9% para el año 2016. El Plan PAE4+ se integrará, a nivel comunitario, en el Plan de Acción de Eficiencia Energética, contribuyendo España con ello a dar respuesta, no sólo a la consecución de este compromiso sino también al objetivo mucho más ambicioso, incluido en la decisión del Consejo europeo de 9/3/2007 de alcanzar niveles de ahorro del 20 % en el horizonte del 2020.

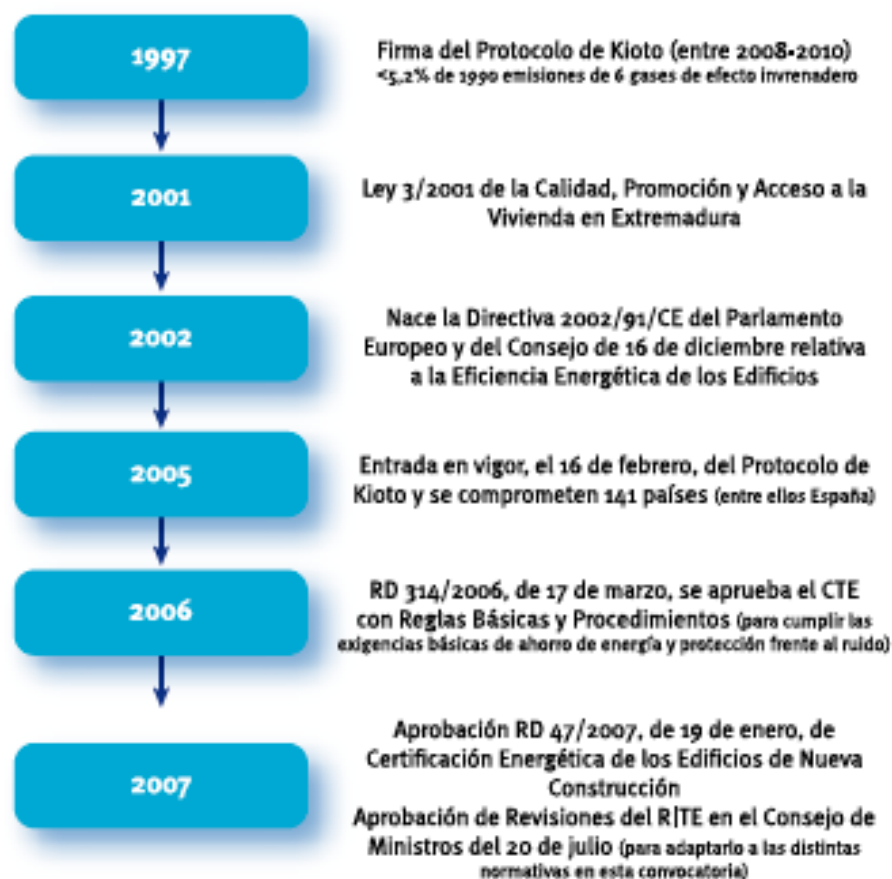


Figura 1.2. Evolución de la Política Energética. (Fuente: IDAE)

Además, según el informe enviado el 7 de Enero de 2010, publicado por IDAE, por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio a la Comisión Europea en cumplimiento de la propia directiva comunitaria sobre la materia (2009/28/CE) a Bruselas, la aportación de las energías renovables al consumo final bruto de energía en España se estima para el año 2020 en un 22,7%, casi tres puntos superior al objetivo obligatorio fijado por la Unión Europea para sus estados miembros, mientras que la aportación de las renovables a la producción de energía eléctrica alcanzará el 42,3%, con lo que España también superará el objetivo fijado por la UE en este ámbito (40%). Como se puede observar en el **ANEXO 5**.

Los datos están contenidos en el anticipo del Plan de Renovables 2011-2020, enviado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio a la Comisión Europea en cumplimiento de la propia directiva comunitaria sobre la materia (2009/28/CE), que contempla objetivos obligatorios de energías renovables para la UE y para cada uno de los Estados miembros en el año 2020, y la elaboración por parte de éstos de planes de acción nacionales para alcanzar dichos objetivos.

Plan de Acción Nacional de Energías Renovables 2011-2020.

El Plan de Acción Nacional de Energías Renovables 2011-2020 se encuentra actualmente en proceso de elaboración, por lo que tanto el escenario como los objetivos para cada una de las tecnologías renovables durante este periodo pueden ser objeto de revisión.

Para la formación del escenario del mapa energético en 2020, se ha tenido en cuenta la evolución del consumo de energía en España, el alza de los precios del petróleo en relación a los mismos en la década de los noventa y la intensificación sustancial de los planes de ahorro y eficiencia energética.

Las conclusiones principales del informe notificado a la Comisión Europea son las siguientes:

En una primera estimación, la aportación de las energías **renovables al consumo final bruto de energía sería del 22,7% en 2020—frente a un objetivo para España del 20% en 2020—**, equivalente a unos excedentes de energía renovable de aproximadamente de 2,7 millones de toneladas equivalentes de petróleo (tep).

Como estimación intermedia, se prevé que en el año 2012 la participación de las energías renovables sea del 15,5% (frente al valor orientativo previsto en la trayectoria indicativa del 11,0%) y en 2016 del 18,8% (frente a al 13,8% previsto en la trayectoria).

El mayor desarrollo de las fuentes renovables en España corresponde a las áreas de generación eléctrica, con una previsión de la **contribución de las energías renovables a la generación bruta de electricidad del 42,3% en 2020**.

Consumo español de Renovables y su aportación en la Energía Final. (Metodología Comisión Europea).

| CONSUMO FINAL DE ENERGÍAS RENOVABLES (en ktep) | 2008 | 2012 | 2016 | 2020 |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Energías renovables para generación eléctrica | 5.342 | 8.477 | 10.682 | 13.495 |
| Energías renovables para calefacción/refrigeración | 3.633 | 3.955 | 4.740 | 5.618 |
| Energías renovables en transporte | 601 | 2.073 | 2.786 | 3.500 |
| Total en Renovables en ktep | 9.576 | 14.504 | 18.208 | 22.613 |
| Total en Renovables según Directiva | 10.687 | 14.505 | 17.983 | 22.382 |

Tabla 1.1. Consumo final de Energías Renovables.

| CONSUMO DE ENERGÍA FINAL (en ktep) | 2008 | 2012 | 2016 | 2020 |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Consumo de energía bruta final | 101.918 | 93.321 | 95.826 | 98.677 |
| % Energías Renovables/Energía Final | 10.5% | 15.5% | 18.8% | 22.7% |

Tabla 1.2. Aportación Energías Renovables al consumo de Energía Final.

Además, el 25 de Febrero de 2010, el IDAE publica, como se puede observar en el **ANEXO 5**, los resultados de un seminario organizado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio a través del IDAE y EUFORES, al que han sido convocados los diputados de la Comisión de Industria, Turismo y Comercio del Congreso de los Diputados, responsables autonómicos de la ejecución junto al Gobierno de los Planes de Acción de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética para España y Empresas de Servicios Energéticos, presentando en Madrid el Observatorio de Eficiencia Energética (Energy Efficiency Watch – EEW).

El Observatorio de Eficiencia Energética es un proyecto coordinado por EUFORES y promovido por Energía Inteligente – Europa. Su objetivo es promover la eficiencia energética a nivel europeo a través de la promoción de buenas prácticas. Para ello, el Observatorio ha hecho una evaluación en profundidad de los Planes nacionales de Acción de los diferentes países miembros, presentados en el marco de la Directiva 2006/32/EC sobre uso final de la energía y servicios energéticos.

La presentación en Madrid tiene como objetivo impulsar el uso creciente de energías renovables y eficiencia energética.

España

La eficiencia energética constituye uno de los pilares fundamentales de la política energética española.

Nuestro país cuenta con una Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en la que se inscriben sucesivos Planes de Acción : el 2005-2008 y el 2008-2012, actualmente en vigor, a los que se sumará un nuevo Plan para afrontar, con nuevas medidas, los retos que nos permitan alcanzar el objetivo de mejorar la eficiencia energética en un 20% en el año 2020, según ha fijado la Directiva 2006/32/EC sobre uso final de la energía y servicios energéticos, para los países miembros.

Por otro lado, el anteproyecto de Ley de Economía Sostenible aprobado por el Consejo de Ministros el pasado día 27 de noviembre, fija un objetivo de ahorro de energía del 20% para el año 2016.

Para lograrlo el Consejo de Ministros aprobó el pasado mes de diciembre un Plan de Activación de la Eficiencia Energética en los Edificios de la Administración General de Estado el cual pretende, además, estimular, por un lado, la creación de un mercado para las empresas de servicios energéticos, cuya definición es incorporada al ordenamiento jurídico español en el mencionado anteproyecto de ley; y, por otro, hacer visible y ejemplarizante el compromiso público con la eficiencia energética.

Dichas medidas son gestionadas conjuntamente por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, a través del IDAE, y las Comunidades Autónomas.

España, dentro de la Unión Europea, es el país con más capacidad de aprovechamiento solar de Europa por su situación de privilegio en lo que a *radiación solar* se refiere gracias a su situación geográfica y climatológica. Por esto se ve particularmente favorecida respecto al resto de los países de Europa, ya que sobre cada metro cuadrado de su suelo inciden al año unos 1.500 kilovatios-hora de energía.

El recurso solar en España es muy abundante, debido a que posee unas condiciones muy adecuadas para la utilización de la energía solar térmica, con áreas de alta irradiancia. Respecto a otros países Europeos, como por Alemania, su situación es comparativamente muy favorable. La disponibilidad en toda la superficie al mismo tiempo es la principal característica de este recurso, estando condicionado por las sombras de elementos naturales y artificiales, además de las particulares condiciones climáticas que cada área geográfica presenta.

La siguiente figura muestra la estimación de la cantidad de energía media diaria por unidad de superficie (irradiancia) en España, según 5 zonas climáticas.

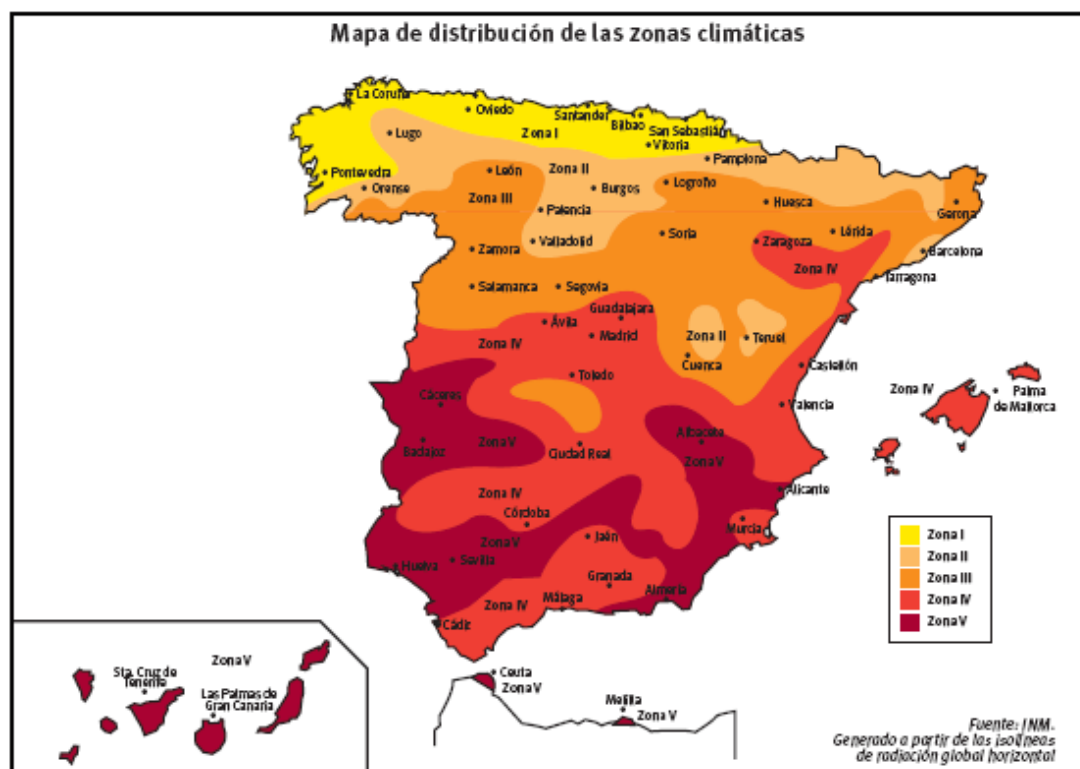


Figura 1.3. Zonas climáticas.

| Demanda total de ACS (l/d) | Zona climática | | | | |
|-------------------------------|----------------|----|-----|----|----|
| | I | II | III | IV | V |
| 50-5.000 | 30 | 30 | 50 | 60 | 70 |
| 5.000-6.000 | 30 | 30 | 55 | 65 | 70 |
| 6.000-7.000 | 30 | 35 | 61 | 70 | 70 |
| 7.000-8.000 | 30 | 45 | 63 | 70 | 70 |
| 8.000-9.000 | 30 | 52 | 65 | 70 | 70 |
| 9.000-10.000 | 30 | 55 | 70 | 70 | 70 |
| 10.000-12.500 | 30 | 65 | 70 | 70 | 70 |
| 12.500-15.000 | 30 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| 15.000-17.500 | 35 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| 17.500-20.000 | 45 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| > 20.000 | 52 | 70 | 70 | 70 | 70 |

Figura 1.4. Zonas climáticas II.

La radiación solar global sobre superficie horizontal en España, según los datos del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), oscila entre 3,2 (kw/h/m²/día), en la zona más septentrional del territorio, hasta los 5,3 (kw/h/m²/día), de la isla de Tenerife.

Como hemos comentado anteriormente, en la actualidad España está potenciando el uso de energías renovables, y en lo que a energía solar se refiere, el uso de instalaciones solares tanto térmicas como fotovoltaicas desde las instituciones gubernamentales. Un paso significativo se muestra en el nuevo Código Técnico de Edificación –CTE– (RD 314/2006, de 17 de Marzo) que recoge en un apartado específico (Sección HE 4) las normas para el ahorro de energía en las nuevas edificaciones y rehabilitaciones integrales. Manifestando expresamente que una parte de las necesidades energéticas térmicas (entre el 30% - 70%) de los edificios de nueva construcción y rehabilitación de edificios existentes de cualquier uso en los que exista una demanda de agua caliente sanitaria y/o climatización de piscina cubierta se cubrirán con Energía Solar Térmica.

Esta exigencia se extiende a toda construcción cuya solicitud de licencia de edificación se presente con posterioridad al 29 de Septiembre de 2006 y es obligada para todo el territorio nacional.

Las diferentes Comunidades Autónomas están contribuyendo también con medidas de promoción y subvenciones económicas para la instalación de sistemas solares térmicos y fotovoltaicos, como es el caso de la Comunidad de Extremadura en la que se localiza este proyecto. A nivel regional, la Comunidad de Extremadura ha aprobado diferentes iniciativas para el fomento de las energías renovables. En el campo de la Energía Solar, ha desarrollado una serie de actuaciones que se integran en el *Plan de Energías Renovables de Extremadura (2005-2010)*, el *Plan de Ahorro y Eficiencia Energética (E4) (2008-20012)*.

Dado el contexto que tratan de desarrollar las políticas energéticas a nivel europeo, nacional y regional, materializadas en diferentes planes de actuación, se prevé para los próximos años una gran demanda de uso de la energía solar.

Además, se prevé que en España, para el periodo 2006-2010, se habrá ejecutado 2.000.000 m² de superficie captadora solar, lo que supone una inversión asociada de 1.300 millones de euros. Con esta medida, se generarán 132.000 toneladas equivalentes de petróleo y se evitará la emisión a la atmósfera de 490.000 toneladas de CO₂.

1.1.3. PLAN ENERGÍAS RENOVABLES DE EXTREMADURA Y P.E.T.E.R.

El Suroeste Ibérico está particularmente bien dotado en cuanto a radiación solar se refiere, y en escalas más modestas en energía hidráulica, biomasa y eólica. Y además, en su extensa frontera marítima, en energía oceánica (corrientes y olas). En cuanto a las demás tipologías de energías renovables, será una selección de las tecnologías disponibles, en cada caso, la que determinará el potencial de captación alcanzable.

Desde el año 2002, las Universidades de Extremadura y de Évora vienen manteniendo un diálogo con vistas a la realización de un proyecto en el dominio de las Energías Renovables, que fuera apoyado por algún programa Europeo, sacando partido de algunas ventajas comparativas de la región en la que se llevaría a cabo. Después de diligencias y vicisitudes, este proyecto se concibió, se dimensionó y finalmente fué aprobada una financiación dentro del programa INTERREG bajo el nombre de “Parque Experimental Transfronterizo sobre Energías Renovables” PETER (Referencia PETER/SP6.E53/03). Este parque temático se ubicaría en dos o más campus, debiendo servir para acciones de demostración y divulgación de las tecnologías renovables, así como a la investigación aplicada y a la formación especializada en este campo, para públicos muy diversos. Tendría como socios a instituciones de enseñanza superior, de investigación y desarrollo y también a empresas. Así se asociaron al proyecto, desde primera hora, las dos instituciones públicas que en España y Portugal tienen las mayores responsabilidades en el dominio de las tecnologías energéticas – el CIEMAT (Madrid) y el INETI (Lisboa). También se adhirieron entidades que en uno y otro país representan competencias e intereses del sector

empresarial, en particular, IDAE y ADRAL y otras que se incorporaron posteriormente. Las Instituciones de la administración pública confirieron el apoyo institucional y político en el arranque del proyecto, y fueron la Junta de Extremadura, la Diputación de Badajoz y la Comisión de Coordinación para el Desarrollo Regional del Alentejo.

El proyecto PETER (Parque Experimental Transfronterizo de Energías Renovables), une a dos países hermanos como son España y Portugal en un tema tan importante como es la promoción de la sostenibilidad energética en los edificios.

El consumo energético y el impacto ambiental a él asociado pueden y deben ser reducidos de forma drástica, mediante una serie de medidas, relacionadas, por un lado, con el planeamiento urbanístico y por otro, a través de la articulación de una serie de estrategias que permitan que la energía pueda entrar a formar parte de los criterios de partida de los proyectos.

Estrategias

Entre otras Estrategias es importante mencionar:

- La Certificación energética de edificios, basada en proporcionar, a los compradores de edificios, una información clara y concreta sobre la eficacia energética del mismo, de forma que permita incorporar este criterio en su decisión de compra.
- Ordenanzas municipales y normativas urbanísticas comprometidas, en la medida que el ahorro energético y la protección del medio ambiente responden a objetivos asumidos por la sociedad.
- Beneficios fiscales para edificios de alta calidad energética y para los planes de ordenación con buenas soluciones energéticas.

- Disponibilidad de infraestructuras energéticamente eficientes. La oferta de alternativas energéticas basadas en esquemas eficientes o de bajo impacto ambiental, facilita la utilización de soluciones eficientes.
- Internalización de costes ambientales. La inviabilidad económica de algunas medidas de ahorro energético se debe a que los costes ambientales del consumo de energía no estén reflejados en su precio.

El papel de la Administración es el de guiar a la sociedad hacia una respuesta más coherente con la problemática ambiental. La Administración dispone de mecanismos propios para favorecer e inducir, desde el inicio, una actuación comprometida con la sostenibilidad, mediante:

La aprobación de Planes Urbanísticos redactados con criterios de sostenibilidad.

Las Normativas de Edificación con parámetros que conduzcan a un mejor comportamiento energético y ambiental de la construcción.

Promover las actuaciones singulares ejemplarizantes en promoción pública y la Ejecución real en todas las actuaciones con criterios de sostenibilidad.

Aplicar los recursos económicos, administrativos, normativos y fiscales que poseen las Administraciones para el apoyo al planeamiento y a la edificación sostenible.

De esta manera la energía podrá entrar a formar parte de los criterios de partida de los proyectos y de las consideraciones que los condicionan, orientando la dinámica del proceso del suelo en la línea de la sostenibilidad y la mejor utilización de los recursos.

En lo que nos toca de cerca, Extremadura, en la Ley 3/2001 de la Calidad, Promoción y Acceso a la Vivienda de Extremadura, recoge en la exposición de motivos el impulso de una política en materia de vivienda donde la calidad sea uno de los ejes centrales y con el objetivo de conseguir edificios de bajo consumo de energía. Ya en su artículo 12 cita que la

Junta de Extremadura promoverá las condiciones necesarias para la adopción, en las obras de edificación de vivienda, de soluciones técnicas que comporten medidas de ahorro y eficiencia de energía y agua; fomentará la utilización de aquellos materiales autóctonos y no contaminantes que se adecuen mejor a las condiciones climáticas y de construcción; se impulsará la utilización de fuentes de energía renovables; y establecerá, reglamentariamente, el otorgamiento de Certificados o etiquetas energéticas y/o medioambientales. Además, han sido aprobadas las revisiones del Reglamento de Instalaciones Térmicas (RITE) en el Consejo de Ministros del 20 de julio de 2007, para adaptarlo a todas estas normativas (Figura 1.2).

En Extremadura torna necesaria la adaptación de las viviendas a las condiciones locales, ya que tiene un clima específico. De modo general, su clima es mediterráneo, con veranos secos y calurosos, en los que el grado de insolación es elevado debido a su latitud y temperaturas medias de unos 26°C (las temperaturas diurnas superan los 40°C). Los inviernos son fríos, suaves y secos, situándose en esta estación la mayoría de las escasas precipitaciones (600 mm anuales y hasta cuatro meses de aridez en la región) con temperaturas medias de unos 15 °C.

Por otro lado, la Junta de Extremadura está llevando a cabo una desmesurada política de viviendas, ante la demanda existente en nuestra región. Para ello, ha lanzado el Plan Especial de Viviendas que tiene por objetivo la construcción de viviendas en toda la región extremeña que posibiliten el acceso a la misma a grupos sociales de renta limitada.

Este Plan se desarrolla con la construcción de diferentes tipologías de viviendas. Actualmente promueve 57 actuaciones, principalmente con origen público (48 actuaciones públicas y 9 privadas), de las cuales 26 se encuentran en la provincia de Badajoz y 31 en la de Cáceres. En total son 21.442 viviendas, 10.438 en Badajoz y provincia y 11.004 en Cáceres y provincia.

1.2. OBJETO DEL PROYECTO

El objeto de este proyecto es la realización del dimensionado básico, el cálculo de prestaciones energéticas y la descripción funcional de la instalación completa de aprovechamiento de energía solar para la producción de Agua Caliente Sanitaria en un edificio multifamiliar de 10 viviendas, distribuidas en sótano, planta baja, primera planta y ático, situado en la ciudad de Cáceres.

Con esta instalación de Energía Solar Térmica se pretende conseguir:

- En primer lugar, un ahorro del combustible empleado en el calentamiento del Agua Caliente Sanitaria de la instalación y una independencia del mismo.
- En segundo lugar, los beneficios medioambientales que conllevan el uso de este tipo de instalaciones (reducción de las emisiones de CO₂, no contribución al cambio climático, minimización de vertidos y lluvia ácida, etc.).
- Y por último, dada la larga vida útil de las instalaciones solares, el ahorro económico que esto supone a los usuarios de la instalación.

A continuación, realizaremos una descripción, en líneas muy generales, de la metodología de trabajo seguida para la realización del diseño de este proyecto y la manera de proceder para los cálculos y dimensionado de la instalación:

- Una vez llegados a este punto, puestos en antecedentes en lo que a energía solar a nivel Europeo y Nacional se refiere, y habiéndonos centrado en las instalaciones solares térmicas para producción de Agua Caliente Sanitaria, pasaremos a hacer una descripción del edificio para el que queremos diseñar la instalación, así como de las distintas variables: geográficas, meteorológicas y climáticas; necesarias para comenzar el dimensionado de la instalación en función de la localidad donde estará situada, que en este caso es Cáceres.



- Una vez definidos los datos de partida, entre los que también se encontrará la estimación de la demanda energética correspondiente al consumo de Agua Caliente Sanitaria de nuestra instalación, pasaremos a realizar un dimensionado previo del área captadora requerida y del volumen de acumulación. Teniendo siempre presente las especificaciones de la normativa vigente, el Código Técnico de la Edificación –CTE (RD 314/2006, de 17 de Marzo).

- El cálculo del dimensionado previo se realizará planteando los balances de energía de los elementos más característicos de nuestra instalación (intercambiador, captadores, acumulador...), obteniendo un valor de área captadora y unas contribuciones solares mínimas que habrán de cumplir los requisitos establecidos por el CTE.

- El siguiente paso, es comprobar que esa área captadora estimada en el cálculo previo es adecuada incluyendo en el cálculo las pérdidas de temperatura sufridas en los recorridos de tubería de nuestra instalación que circulan por el exterior del edificio y en los captadores solares. Ésta pérdidas térmicas estarán generadas por:

- La circulación del fluido caloportador (convección interna forzada).
- El efecto generado por el viento (convección externa forzada).
- La pérdida de temperatura por conducción.

- Una vez comprobado que el área determinada es la adecuada y que se siguen cumpliendo las especificaciones del CTE en lo que a Contribución Solar se refiere, se continuará con la descripción de los circuitos de la instalación (primario y secundario) así como de todos sus elementos.



- Se establecerá cual será el sistema de energía auxiliar empleado y la justificación de su uso. Se hará un análisis del ahorro de combustible y de la disminución de las emisiones de CO₂ frente a una instalación convencional. Se analizará el periodo de amortización de la instalación diseñada en función de la inversión inicial necesaria y se describirán las funciones de mantenimiento así como de regulación y control requeridas por la instalación.



2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. ENERGÍA SOLAR

En la actualidad existen dos sistemas de utilización de la energía proveniente del sol:

- *Aprovechamiento térmico*: consiste en la captación de la energía solar mediante colectores o centrales solares de torre, en los cuales la energía que proviene del sol se aprovecha en forma térmica, transfiriéndola a un fluido caloportador.
- *Aprovechamiento eléctrico*: consiste en la transformación directa de la energía del sol en energía eléctrica mediante células fotovoltaicas construidas con un material semiconductor.

2.1.1. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA DISPONIBLE. RADIACIÓN

La energía solar térmica es la producción de Agua Caliente Sanitaria mediante colectores solares por la transformación de la radiación solar en energía térmica. Como es normal los colectores solares deberán estar expuestos al sol para recibir su radiación, y cuanto más radiación reciba, más energía térmica obtendrán.

La determinación de la radiación solar que recibe la superficie captadora de nuestra instalación es de gran importancia a la hora de dimensionar la instalación, ya que es la fuente de alimentación mayoritaria de nuestro sistema y por tanto un factor prioritario que determinará la viabilidad de la misma.

El Sol es una fuente inagotable de recursos para la humanidad. Provee una energía limpia, abundante y disponible en la mayor parte de la superficie terrestre y puede por lo tanto, ser una solución a los problemas ambientales generados por los combustibles convencionales, como el petróleo, y de otras alternativas como las centrales nucleares.

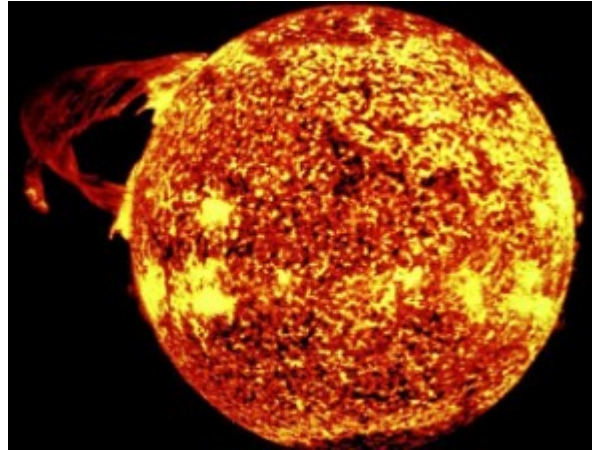


Figura 2.1. Sol

El Sol (esfera de gases a alta temperatura con $1,39 \cdot 10^9$ m de diámetro y a una distancia media de $1,5 \cdot 10^{11}$ m de la Tierra) genera su energía mediante reacciones nucleares de fusión (dos átomos de hidrógeno que producen helio por ejemplo) llevadas a cabo en su núcleo. Por tanto, la pérdida de masa del Sol es lo que se convierte en energía según la ecuación $E = mc^2$ de Einstein.

En el núcleo solar la temperatura es del orden de 10^7 K y la densidad de 10^5 kg/m³. En la fotosfera (superficie opaca aparente del Sol) la temperatura cae hasta 5000 o 6000 K y la densidad a 10^{-5} kg/m³.

La combinación de tres factores: la distancia Tierra-Sol, el diámetro solar y la temperatura del Sol determinan un flujo de energía que incide sobre la Tierra. Podemos considerar para su aplicación al campo de la ingeniería, que la emisión de energía es constante (el recurso energético está más sujeto a cambios meteorológicos que solares). Esto da lugar a la definición de constante solar (flujo de energía proveniente del Sol que incide sobre una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación solar ubicado a la distancia media de la Tierra al Sol, fuera de la atmósfera) cuyo valor teórico aceptado por la NASA (National Aeronautics Space Administration) y la ASTM (American Society for Testing Materials) es de:

$$G_{sc} = 1353 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

El Sol emite radiación en toda la gama del espectro electromagnético (desde los rayos gamma hasta las ondas de radio) sin embargo, sólo nos interesa la radiación térmica que incluye sólo el ultravioleta (UV), la radiación visible (VIS) y la infrarroja (IR).

Para alcanzar la superficie terrestre la radiación solar debe atravesar la atmósfera donde experimenta diversos fenómenos físicos (reflexión, absorción y difusión) que disminuyen la intensidad final. Así pues, la radiación solar que recibe una superficie horizontal es del orden de $1000 \text{ (W/m}^2\text{)}$ al mediodía, variando según la latitud del lugar, nubosidad, humedad y otros factores.

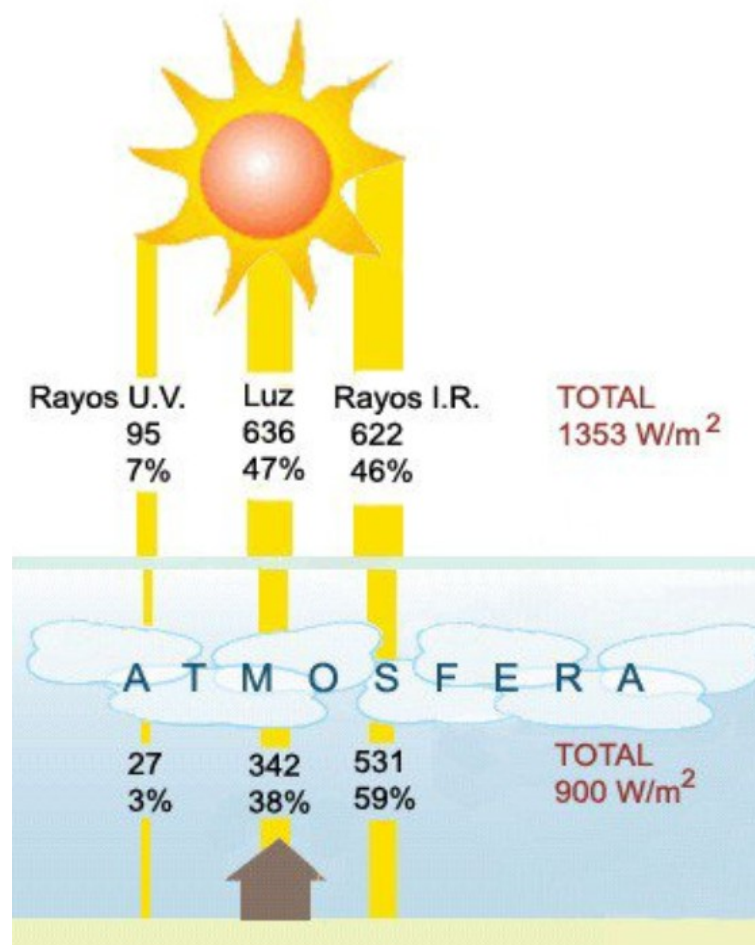


Figura 2.2. Radiación Solar a través de la atmósfera. (Fuente: IDAE)

La radiación que llega directamente del Sol es la denominada radiación directa y la que previamente es absorbida y difundida por la atmósfera (muy significativa en días nublados por ejemplo) es la radiación difusa. Además, la radiación solar, tanto directa como difusa, se refleja en todas las superficies en las que incide dando lugar a la radiación reflejada. La suma de estos tres tipos da lugar a la radiación solar global y es la aprovechable para su transformación térmica.

La radiación total será la suma de todas las radiaciones.

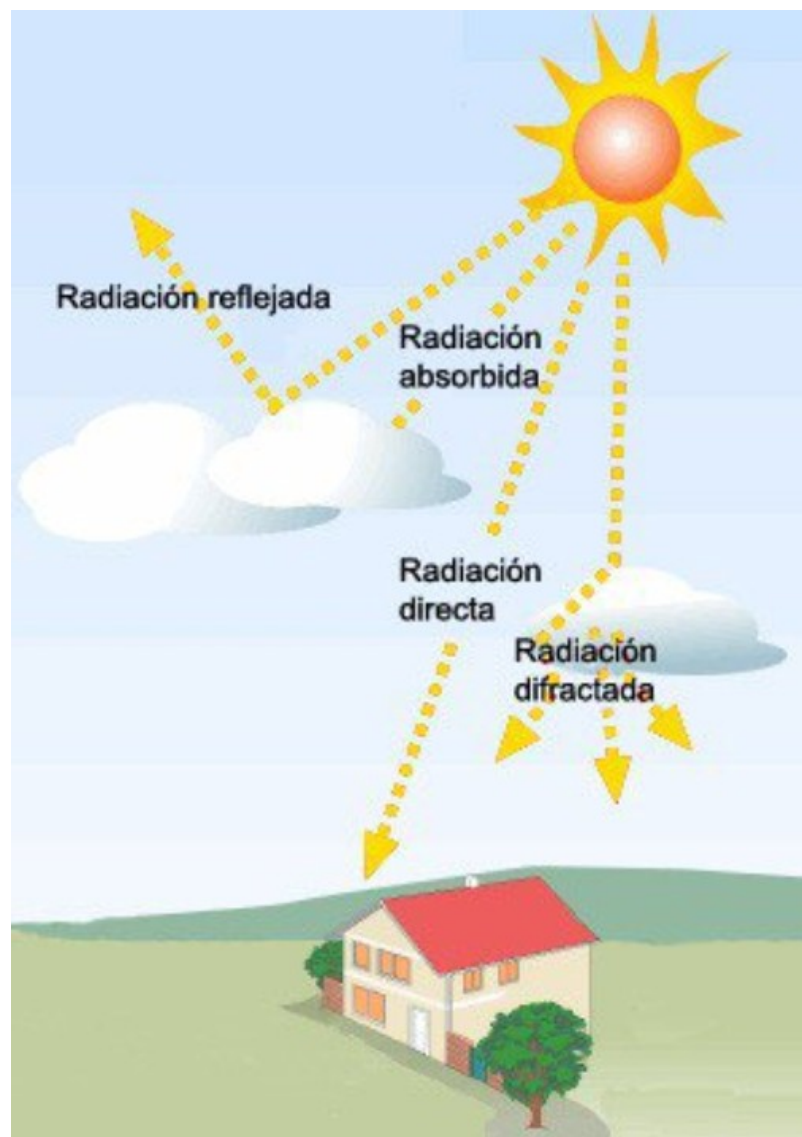


Figura 2.3. Radiación Solar. (Fuente: IDAE)

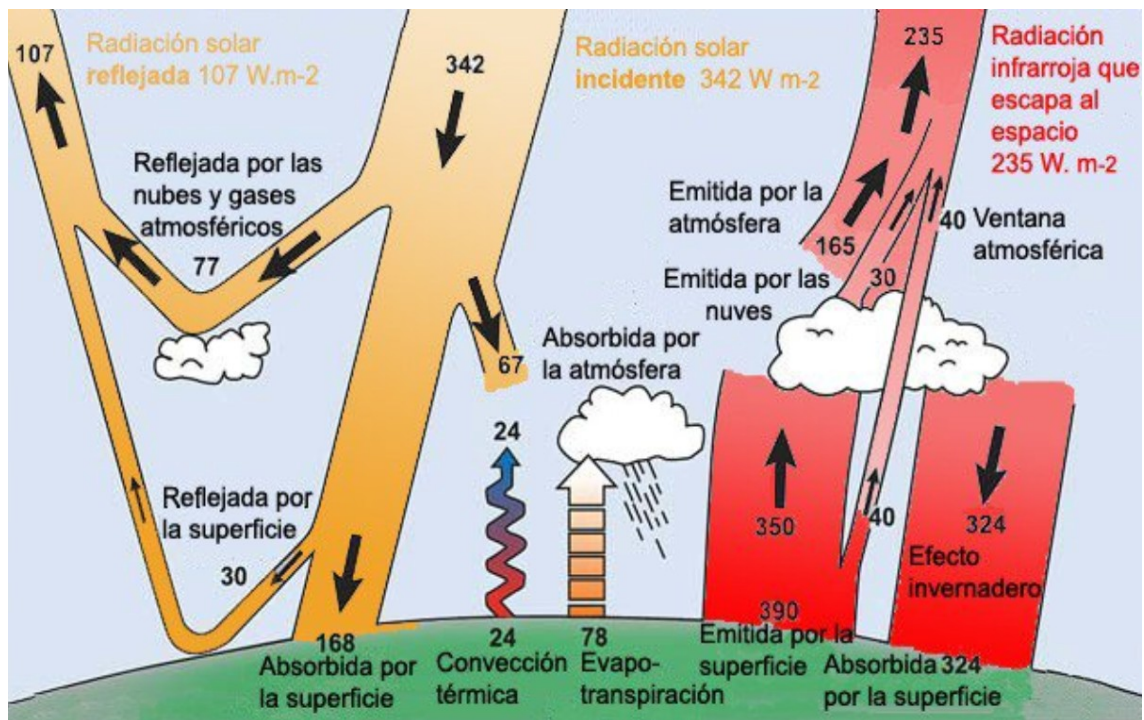


Figura 2.4. Balance energético de la atmósfera. (Fuente: IDAE)

La captación térmica de la energía solar es el procedimiento de transformación de la energía radiante del Sol en calor. Nos referimos a aplicaciones de la energía solar a baja temperatura cuando la energía captada se utiliza para generar temperaturas inferiores a 80°C .

Los problemas técnicos que se plantean para el aprovechamiento de la energía solar son la gran dispersión de la energía solar sobre la superficie de la tierra y el carácter incontrolable y variable en el tiempo de la intensidad de radiación solar. En invierno, que es generalmente cuando más se necesita, dicha radiación es menor con lo que la disponibilidad no coincide con la demanda. Por ello es necesario un sistema de almacenamiento y contar con el apoyo de sistemas de respaldo o fuentes suplementarias de energía.

La posición del sol:

La tierra describe en su translación alrededor del sol una órbita elíptica en la cual invierte aproximadamente 365 días. Además el eje rotacional de la tierra podemos decir que se mantiene constante a $23^{\circ}27'$ respecto al plano eclíptico. Por lo tanto, en el plano ecuatorial, al ser perpendicular al eje por su centro tiene la misma amplitud.

Para el cálculo de la energía captada por los colectores es necesario conocer el valor de las radiaciones incidentes y, en el caso de la radiación directa, el ángulo que forma la dirección de la misma con la normal a la superficie de los colectores. Como quiera que este ángulo varía continuamente en función de las posiciones relativas de la tierra y el sol, estamos ante un problema de trigonometría en tres dimensiones en el que influyen una serie de ángulos.

Para conocer la posición solar y la radiación que alcanza a una superficie cualquiera, se deben definir las siguientes coordenadas:

Coordenadas ecuatoriales:

La latitud (Φ)

El ángulo horario (ω)

La declinación solar (δ)

Coordenadas solares:

El acimut solar (γ_s)

La altura solar (α_s)

El ángulo zenital (θ_z)

Coordenadas horarias:

Ángulo de salida del sol (ω_s)

Ángulo de puesta de sol (ω_p)

Coordenadas relativas

La orientación (γ)

Inclinación (β)

Ángulo de incidencia solar (θ)

Una vez conocidas todas las razones trigonométricas que pueden afectar a nuestro sistema podemos determinar la orientación que deben tomar nuestros colectores.

La orientación óptima es hacia el sur, debido a que nuestra instalación se encuentra en el hemisferio Norte, a que la trayectoria del sol desde esta orientación es simétrica de este a oeste, con respecto a su posición al mediodía. Por ello emplearemos el valor $\gamma = 0^\circ$, en lo que se refiera a los colectores.

2.2. INSTALACIONES DE AGUA CALIENTE SANITARIA (A.C.S.)

2.2.1. SISTEMA SOLAR TÉRMICO

Se llama **sistema solar térmico** a toda instalación destinada a convertir la radiación solar en calor útil para su utilización.

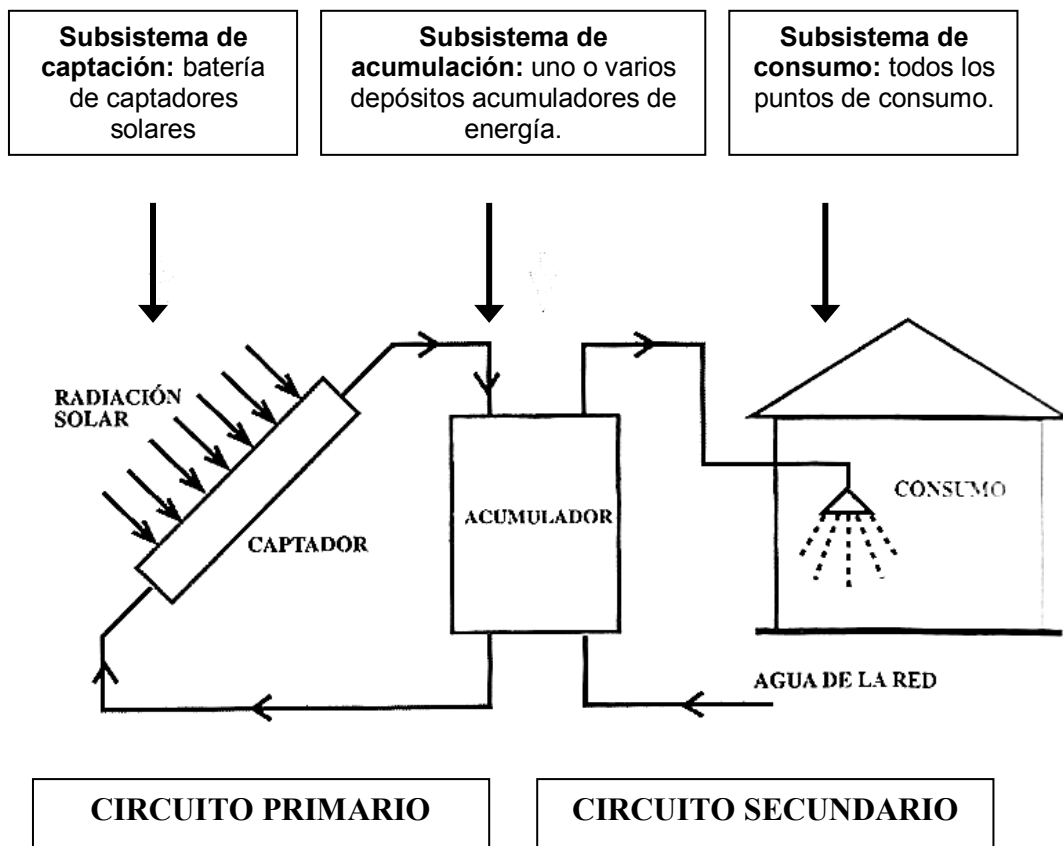


Figura 2.5. Sistema Solar Térmico.

Un sistema solar a baja temperatura es aquel cuya temperatura de trabajo es menor que 100°C (punto de ebullición del agua). La tecnología de conversión térmica a bajas temperaturas comprende todo el calentamiento del agua por debajo de los 100°C para posteriormente extraer su energía y utilizarla en diversas aplicaciones.



Los sistemas solares a baja temperatura, se dividen en tres subsistemas principales, los cuales requieren el acoplamiento de los mismos para el funcionamiento del sistema solar. Estos subsistemas son:

- Subsistema captador.
- Subsistema intercambiador.
- Subsistema acumulador.

La eficacia global del sistema está condicionada por el propio diseño de cada uno de sus componentes, pero también por la interrelación de estos entre sí.

2.2.1.1. SISTEMAS DE OBTENCIÓN DE A.C.S.

De las múltiples aplicaciones de la energía solar térmica la producción de A.C.S. es posiblemente la que mejor se adapta a las características de la energía obtenida pues, por un lado, los niveles de temperaturas que obtenemos de la energía solar (entre 40°C y 60°C) coinciden con los más apropiados para una buena eficacia de los colectores, y por otro lado, vemos que la necesidad de consumo de A.C.S. es constante durante todos los meses del año, al igual que la obtención de energía solar, por lo que la inversión se rentabilizará más rápidamente que en el caso de otras aplicaciones como: la calefacción (sólo en invierno) o el calentamiento de piscinas (solo verano).

Definición del sistema

Para definir el sistema debemos definir concisa y claramente cada una de las partes de que va a estar constituido, así como cada una de las funciones específicas que cada parte de sistema realiza. Dichas funciones son:

- **Función de captación:** depende principalmente de los colectores solares y de una serie de componentes que junto con ellos forman el subsistema de captación. Este sistema es el encargado de captar la energía solar incidente en forma de radiación y transformarla en energía térmica.
- **Función de apoyo:** es necesaria durante gran parte del año, y debe permitir garantizar el abastecimiento de energía en determinados momentos extremos como, un aporte muy escaso o nulo de la instalación solar por la baja o nula radiación incidente, sea cual sea la demanda de la instalación. Además, debemos tener muy en cuenta no interferir ni perjudicar el propio rendimiento térmico de la instalación solar.
- **Función de utilización:** debemos conocer y tener muy claro cual es el fin último del sistema y que debe asegurar, tanto en cantidad como en calidad. Esta función la cumple la red de distribución del A.C.S. con todos sus accesorios.

Principios básicos para el óptimo aprovechamiento de la energía solar térmica

Los cuatro principios que a continuación se reseñan y que son interdependientes entre sí permitirán desarrollar diseños correctos.

***Primer principio: Captar el máximo posible de energía solar.***

Para que se cumpla este principio no sólo debe estar correctamente la superficie colectora y perfectamente elegida la inclinación idónea, además es preciso regular la captación de dicha energía para que realmente se convierta en energía útil, para ello, se deben medir y comparar permanentemente los niveles de temperatura en los colectores y en el almacenamiento y disponer de los mecanismos automáticos necesarios para que en el circuito primario se establezca o no circulación de fluido en función de la necesidad.

Segundo principio: Consumir prioritariamente la energía solar.

El diseño del sistema de almacenamiento debe ser tal que favorezca el uso prioritario de la energía solar (gratuita) frente a la auxiliar y nunca al revés. Este objetivo es más fácil de lograr si el sistema consta de más de un acumulador.

Tercer principio: Asegurar la correcta complementariedad entre la energía solar y la convencional.

En el caso de la producción de A.C.S. el primer y segundo principio conducen a precalentar toda el agua que será posteriormente consumida. El nivel de temperatura conseguido es frecuentemente inferior al deseado. La complementariedad ideal consistiría en alcanzar dicho nivel y, añadiendo la cantidad de energía auxiliar estrictamente precisa, conseguir la temperatura mínima aceptable para el uso.

Cuarto principio: No juntar la energía solar con la convencional.

Si los tres primeros principios se cumplen es entonces posible casi siempre cumplir también este cuarto.

Se trata de no mezclar, o hacerlo mínimamente, el agua precalentada por los colectores con la que lo ha sido mediante energía auxiliar.

2.2.1.2. SUBSISTEMAS DEL SISTEMA DE OBTENCIÓN DE A.C.S.

Dentro del sistema solar activo de baja temperatura se pueden distinguir otros subsistemas.

Subsistema captador:

El captador solar es un intercambiador de calor en el que la radiación solar se transforma en energía térmica aumentando la temperatura del fluido que circula a través de él. Además también se calienta el conjunto del captador.

Existen diversos tipos de captadores solares: planos con diferentes variantes (de vacío, CPC, etc), cilíndrico parabólicos, etc. En las instalaciones de solares para producción de agua caliente sanitaria se emplea mayoritariamente el captador solar plano. En la **Figura 2.5.** se muestran los principales elementos de un captador solar plano típico.

La radiación solar, de longitud de onda (0,2-3 mm), que atraviesa la cubierta transparente e incide sobre el absorbedor aumenta la temperatura de este último y de todos los elementos de su entorno (fluido de trabajo, etc). El absorbedor al calentarse, emite radiación térmica de onda larga (7-14 mm) que no puede salir al exterior, debido a que la cubierta transparente es opaca frente a esta radiación infrarroja de onda larga.

Este fenómeno de selectividad transmisiva es el responsable de que se produzca el denominado *efecto invernadero* en el captador solar es decir, que la radiación solar entra en su mayor parte en el dispositivo y la radiación infrarroja que se genera en él, no puede salir.

La transferencia de calor por conducción y convección que tiene lugar desde el absorbedor al fluido de trabajo consigue aumentar la energía interna del fluido; la circulación de éste, produce la evacuación de la energía generada y la disminución de la temperatura del absorbedor. Esta disminución de la temperatura del absorbedor reduce las pérdidas por radiación, convección y conducción del conjunto que se mantienen en niveles razonables.



La cubierta transparente disminuye las pérdidas por convección ya que evita el contacto directo del absorbedor con el aire ambiente. Las pérdidas por radiación disminuyen a medida que la cubierta presenta mayor opacidad frente a la radiación emitida por el absorbedor. Con objeto de minimizar las pérdidas térmicas por conducción a través de los laterales y la parte posterior de la carcasa, se coloca material aislante en los laterales y parte posterior del absorbedor.

Las pérdidas térmicas por convección y radiación en un captador plano son normalmente las más importantes y se producen en un porcentaje elevado por la cara anterior (dirigida a la radiación solar) del captador.

Los elementos principales que componen de un captador solar son:

- **Absorbedor**

Es el elemento donde se produce la conversión de la radiación solar en energía térmica. Consiste en una superficie plana constituida por una lámina o varias aletas metálicas adheridas a un circuito hidráulico a través de cual circula el fluido de trabajo para evacuar la energía captada.

- **Cubierta transparente**

Es un elemento plano de material transparente a la radiación solar que cumple los siguientes objetivos:

- Reducir las pérdidas térmicas del absorbedor por convección. La cámara de aire existente entre el absorbedor y la cubierta reduce las pérdidas por convección al evitar el contacto directo del absorbedor con el ambiente exterior y por encontrarse la cara exterior de la cubierta a una temperatura inferior a la del absorbedor.

- Reducir las pérdidas térmicas del absorbedor por radiación. Para esto, además de permitir que la radiación solar atraviere la cubierta, debe conseguir que la radiación emitida por el absorbedor no salga al exterior.
- Asegurar conjuntamente con la carcasa, el cierre del captador y proteger al absorbedor frente a los agentes exteriores (humedad, etc).

- **Aislamiento**

Se coloca en los laterales y en el fondo de la carcasa para reducir las pérdidas térmicas por conducción. Los materiales utilizados deben comportarse adecuadamente frente a temperaturas elevadas (como mínimo la temperatura de estancamiento del captador) y no debe de vaporizar dentro del rango de temperaturas de trabajo ya que si lo hicieran podrían disminuir las propiedades ópticas de la cubierta y/o de absorbedor. Además de por el efecto de la temperatura, el material aislante se puede deteriorar por la entrada de agua en el interior del captador, que puede llevar a incrementos de volumen del material aislante que deformen el captador, a la pérdida de sus propiedades aislantes, etc.

- **Carcasa o caja**

Junto con la cubierta, constituye el contenedor del resto de componentes del captador, los protege de la intemperie y da rigidez al conjunto. El diseño de la carcasa debe presentar resistencia mecánica suficiente para soportar tanto las condiciones de montaje como las de uso, y el material debe tener un buen comportamiento frente al ambiente exterior y a las condiciones de funcionamiento.

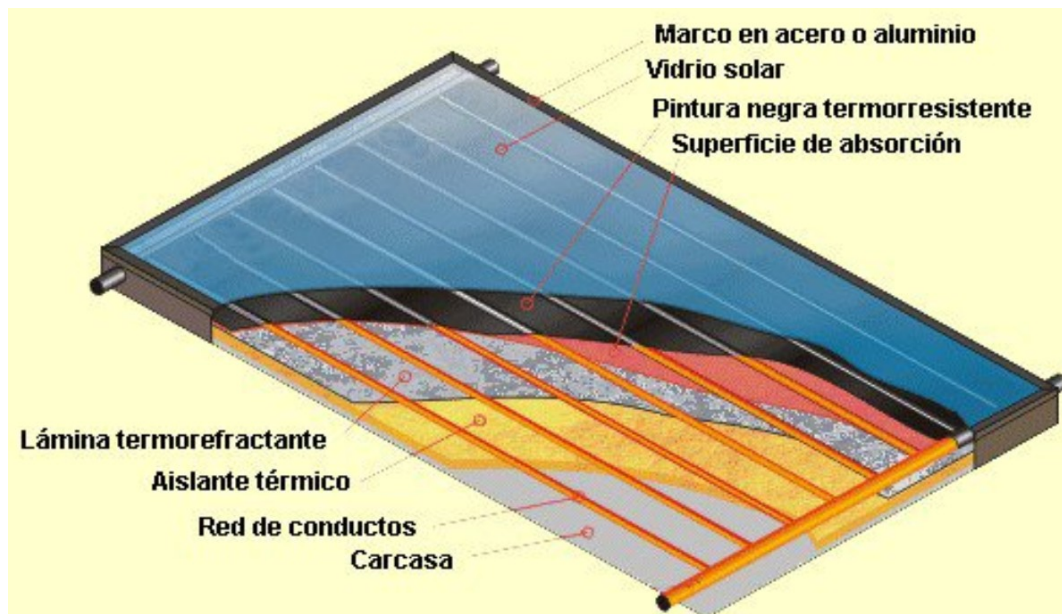


Figura 2.6. Elementos de un captador solar.

El diseño del captador debe prever la distinta dilatación térmica de todos los materiales que lo componen; en particular se debe incorporar juntas elásticas entre la cubierta y la carcasa. El material de estas juntas debe ser resistente a la radiación solar, altas temperaturas y humedad. Su principal característica debe ser mantener esas buenas propiedades durante mucho tiempo.

Es conveniente hacer hincapié en dos características globales importantes de un captador solar térmico:

- Su alta durabilidad manteniendo sus propiedades fundamentales.
- Su peso lo más bajo posible que facilita el montaje y disminuye las cargas sobre las cubiertas sobre las que se debe montar.

Subsistema intercambiador:

Esta formado por aquellos elementos de la instalación encargados de transferir la energía captada en los captadores solares hasta el depósito del acumulador de A.C.S.

El principal de estos elementos será el intercambiador, pero además hay que considerar el conjunto de tuberías, válvulas y demás piezas que forman parte integrante del sistema de transporte del calor.

El intercambiador de calor en una instalación solar se utiliza cuando se requiere transferir calor de un fluido a otro sin que estos se mezclen, quedando independizados de esta manera los dos circuitos. Su función en la instalación solar consiste en transferir la energía captada en los colectores que contienen agua con anticongelante, para evitar heladas porque se instalan a la intemperie, al Agua Caliente Sanitaria del circuito secundario para que esta sea acumulada.

Los intercambiadores de calor de una instalación solar son intercambiadores líquido-líquido, y se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Según su posición en la instalación:
 - Interiores
 - Exteriores
- Según su construcción:
 - De serpentín que puede ser helicoidal, constituido por un tubo arrollado en espiral, situado en la parte inferior del acumulador, o de haz tubular. En el interior del serpentín el líquido está en circulación forzada, mientras que en el exterior, la renovación del líquido en contacto con el serpentín se hace por convección natural.

- De doble envolvente en los que el circuito primario envuelve al secundario produciéndose el intercambio a través de la superficie en contacto con el fluido acumulado.
- De placas, los cuales son los más utilizados por sus múltiples ventajas como la alta calidad del material que garantiza su duración, la posibilidad de añadir o quitar placas lo que permite correcciones de error en el dimensionado previo o ampliación de la instalación, facilidad de mantenimiento y excelente eficacia.

Subsistema acumulador:

La necesidad de energía no siempre coincide en el tiempo con la captación que se obtiene del sol, lo que hace necesario disponer de un sistema de acumulación de la energía generada que haga frente a la demanda en momentos de poca o nula radiación solar, así como a la producción solar en momentos de poco o nulo consumo.

Tipos de almacenamiento:

- *Almacenamiento de calor sensible con agua:* está formado por depósitos que acumulan el agua caliente procedente de los paneles para ser usada posteriormente, cuando las necesidades de la demanda lo exijan. El agua como medio para ser almacenado tiene algunas ventajas: sus buenas cualidades para compaginar su uso en los colectores y como medio de almacenamiento, alta capacidad calorífica y permanencia en estado líquido en el rango de temperaturas habitual con colectores planos, excelentes propiedades para el transporte (viscosidad, conductividad térmica, densidad, etc.), no es tóxica ni inflamable y es muy barata. Por otro lado sus inconvenientes son: que produce corrosión y el peligro de congelación.

- *Almacenamiento en lecho sólido:* utiliza la capacidad térmica de un lecho de material en partículas densamente empaquetado. Normalmente se suele emplear como fluido el aire y como lecho sólido piedras. La adicción de calor se hace con circulación descendente y la recuperación con circulación ascendente.
- *Almacenamiento estacional:* consiste en almacenar calor en verano para poder utilizarlo en invierno. Es típico de sistemas de calefacción centralizada o de grandes edificios en climas fríos, necesitando de una gran capacidad de almacenamiento.

En cualquier caso a un sistema de almacenamiento debemos exigirle alta capacidad calorífica, volumen reducido, temperatura de utilización acorde con la necesidad concreta, rápida respuesta a la demanda, buena integración en el edificio, bajo coste, seguridad y larga duración. Para los sistemas solares térmicos se utiliza un depósito acumulador donde se almacena energía en forma de agua caliente. Su forma suele ser cilíndrica por su facilidad de construcción. La altura debe ser mayor que el diámetro ya que de esta manera se favorece el fenómeno de la estratificación, el agua disminuye su densidad al aumentar la temperatura, por lo que cuanto mayor sea la altura, mayor será la diferencia entre la temperatura en la parte superior e inferior del depósito, es decir, mayor será la estratificación.

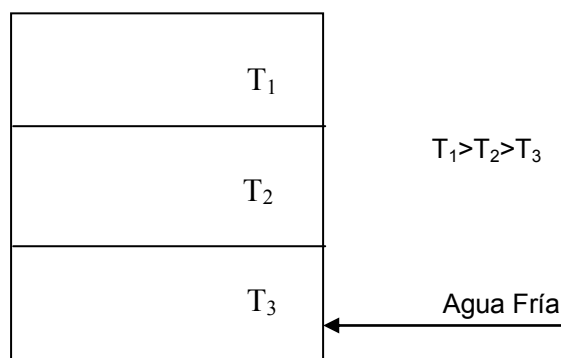


Figura 2.7. Estratificación del tanque.

De la parte más alta del acumulador se extrae el Agua Caliente Sanitaria para consumo, ya que es la parte con mayor temperatura, mientras que la salida hacia los colectores solares se hace desde la parte más baja del acumulador, de manera que hacemos funcionar los colectores a la mínima temperatura posible, aumentando su rendimiento.

Además, la verticalidad de los acumuladores tiene la ventaja de ocupar menos espacio que los horizontales, por aprovechar mejor la altura de las habitaciones, además de economizar en el soporte o anclaje, que generalmente viene incorporado al tanque.

Subsistema de energía auxiliar:

El rendimiento de un sistema solar térmico de baja temperatura, dependiendo de la zona climática y de los meses del año, puede ser muy reducido o nulo. Por ello se precisa un sistema de apoyo que sustituya y/o complemente al sistema de energía solar. El aporte energético debe ser el necesario para conseguir la temperatura deseada pero maximizando el uso de la energía solar.

En la actualidad son técnica y económicamente viables los siguientes sistemas de aporte de energía auxiliar en serie:

- *Calderas de gas* (butano, propano, ciudad). Son adecuadas para todo tipo de instalaciones y en especial para los sistemas unifamiliares y multifamiliares distribuidos.
- *Calderas de gasóleo*. Rentables únicamente en aplicaciones industriales con procesos bien definidos y en calefacciones.
- *Calostatos eléctricos*. Que son aplicables a instalaciones industriales y sistemas de calefacción.

Subsistema de distribución:

El subsistema de distribución está compuesto por la red de tuberías y los accesorios correspondientes que realizarán el transporte del fluido caloportador entre los colectores y el sistema acumulador, además de realizar el transporte entre éste y los puntos de consumo. En la conexión entre los captadores y el acumulador se pueden distinguir dos zonas: la de impulsión que es la red de tuberías que llega a los paneles y la de retorno, que es la red de tuberías que sale del captador.

Uno de los elementos más importantes de este subsistema es el conjunto de bombas que hay que instalar para que el fluido caloportador pueda circular en parte de la red del circuito hidráulico, aún con las pérdidas de carga existentes en la instalación. Así, la potencia de diseño de la bomba dependerá del caudal impulsado y de las pérdidas de carga que deba vencer.

Otro elemento del subsistema de distribución es el vaso de expansión cuya función es absorber las dilataciones del fluido contenido en un circuito cerrado y producidas por aumentos de temperatura.

Finalmente serán necesarios elementos accesorios en el sistema de distribución tales como válvulas, purgadores, filtros y todos aquellos elementos empleados en las instalaciones convencionales de fontanería.

Subsistema de regulación y control:

El objetivo fundamental de los sistemas de regulación y control es optimizar el rendimiento de la instalación y evitar que esta alcance condiciones extremas que puedan provocar averías.

Una instalación mal regulada puede:

- No aprovechar toda la energía útil que se pueda obtener
- Disipar al ambiente energía previamente almacenada.

Hay dos parámetros de los captadores solares que influyen en la concepción de la regulación, que son:

- La temperatura media del panel
- El caudal de fluido que circula por el mismo.

Cuanto mayor sea la diferencia entre la temperatura media del captador y la temperatura ambiente, menor será el rendimiento.

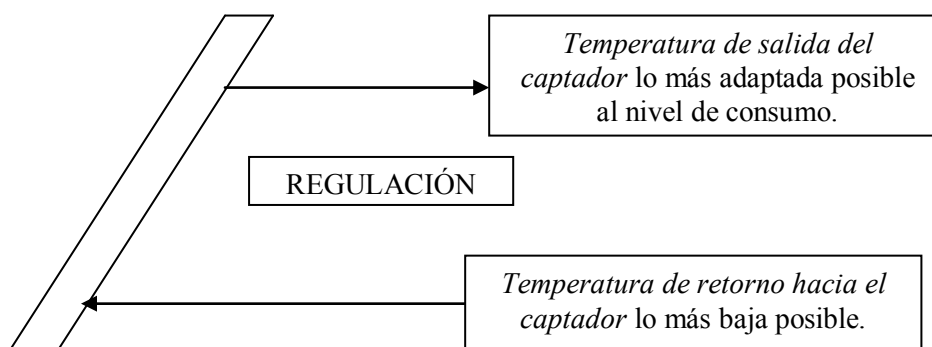


Figura 2.8. Temperatura de entrada y salida al captador solar.

Los tres elementos principales de este sistema son:

- *Los sensores:* que son los encargados de medir las variables a controlar de la instalación (temperaturas). Los más frecuentemente utilizados en energía solar son: termopares, termoresistencias, termistores, diodos de silicio o de germanio, etc.
- *El regulador:* es el dispositivo que genera una señal de control a partir del valor de la variable controlada y el punto de consigna. Pueden ser termostatos o reguladores proporcionales.
- *Actuador:* es el elemento que al recibir la señal de control actúa sobre la variable de operación, regulando en general el flujo de materia o de energía. Pueden ser relés, contactores, válvulas de control, etc.

En las instalaciones solares la regulación se realiza mediante la comparación de temperaturas en diferentes puntos de la instalación, de forma que se arranquen o paren las bombas, y cuando existan se activen las válvulas de tres vías.

2.2.2. CONFIGURACIÓN DE INSTALACIONES DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

2.2.2.1. GENERALIDADES

Normalmente se tiene la idea de que los sistemas de aprovechamiento de la energía solar térmica han de ser simples, esto suele venir motivado por la consideración de que, como la energía solar es gratis, abundante y natural, se adaptará fácilmente a cualquier sistema.

En algunos casos se han realizado instalaciones por aficionados e incluso captadores fabricados artesanalmente, que aunque en principio funcionen correctamente, inevitablemente conducen en un breve periodo de tiempo al fracaso de la misma.

Por todo esto la normativa (RITE-ITE 11) especifica:

“La ejecución de las instalaciones sujetas a este reglamento solamente puede ser realizada por empresas que estén registradas como empresas instaladoras en la especialidad adecuada a la instalación de que se trate.”

2.2.2.2. TIPOS BÁSICOS DE INSTALACIONES

Hay dos clasificaciones de los tipos básicos de instalaciones de baja temperatura, atendiendo a la configuración del:

- *circuito*: directo o indirecto
- *circulación*: termosifón o forzada

Respecto a la configuración del *circuito* se hace referencia a si el fluido que circula por los colectores es el mismo que se utiliza en el consumo (circuitos directos) o se divide en dos circuitos independientes (circuitos indirectos).

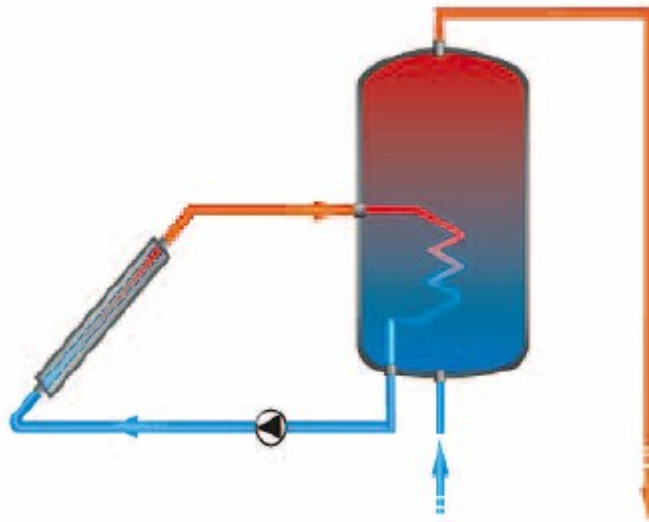


Figura 2.9. Circuito indirecto.

Los *circuitos directos* son utilizados en la climatización de piscinas al aire libre.

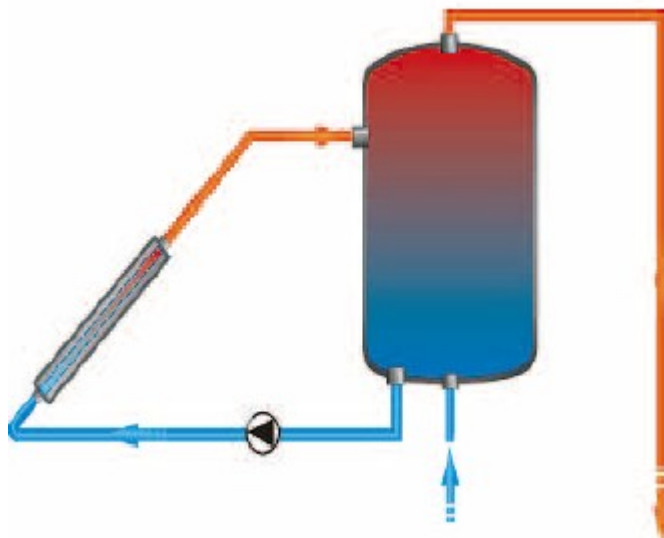


Figura 2.10. Circuito indirecto.

Respecto al tipo de circulación la diferencia viene dada por el principio que produce el movimiento del agua en el circuito captador. Y podemos distinguir varias clases:

- Instalaciones con *circulación por termosifón*: se basan en el aprovechamiento de la variación de densidad de un fluido al modificar su temperatura. En el captador, la entrada del fluido caloportador está en la parte inferior, al calentarse por efecto del sol, el fluido aumenta su temperatura y disminuye su densidad, por lo que tiende a subir. Este efecto es continuo en todo el captador, por lo que el fluido adquiere suficiente inercia como para salir por la parte superior del mismo hasta el serpentín situado en el acumulador, donde cede el calor al agua contenida en el depósito. Al disminuir la temperatura del fluido su densidad aumenta y tiende a bajar, con lo que se cierra el circuito de circulación.

Con este sistema, la velocidad de circulación del fluido caloportador será proporcional a la diferencia de temperatura entre él y el agua acumulada.

Se utiliza en pequeñas instalaciones, sobre todo en equipos compactos.

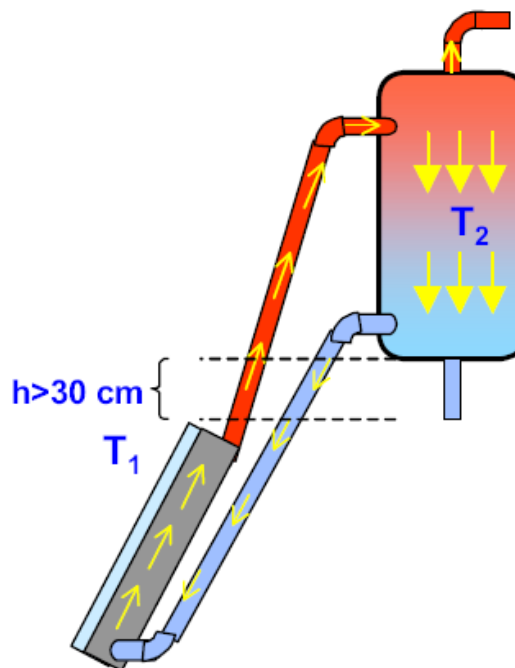


Figura2.11. Instalación por termosifón.

- Instalaciones con *circulación forzada*: Una bomba en el circuito produce la circulación del fluido.

Dentro de las instalaciones con circulación forzada se puede distinguir entre:

- Instalaciones con *intercambiador de calor incorporado al depósito* (tipo serpentín o doble envolvente). Son adecuados para instalaciones pequeñas.

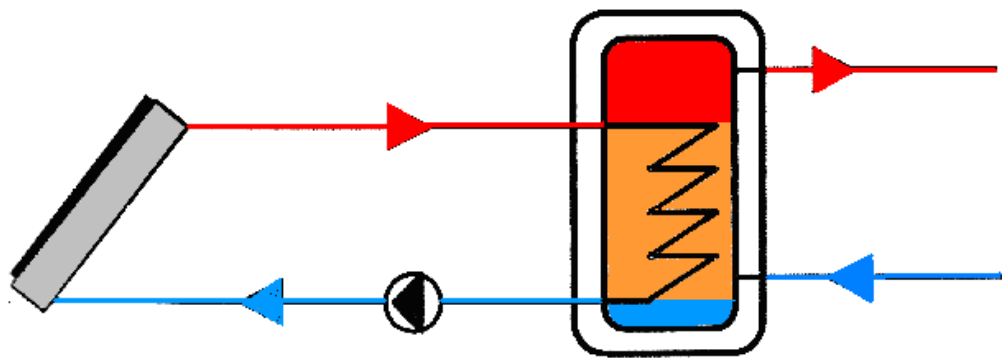


Figura 2.12. Instalación con intercambiador de calor incorporado al depósito.

- Instalaciones con intercambiador de calor externo tipo placas o tubular. Su uso es aconsejable en grandes instalaciones.

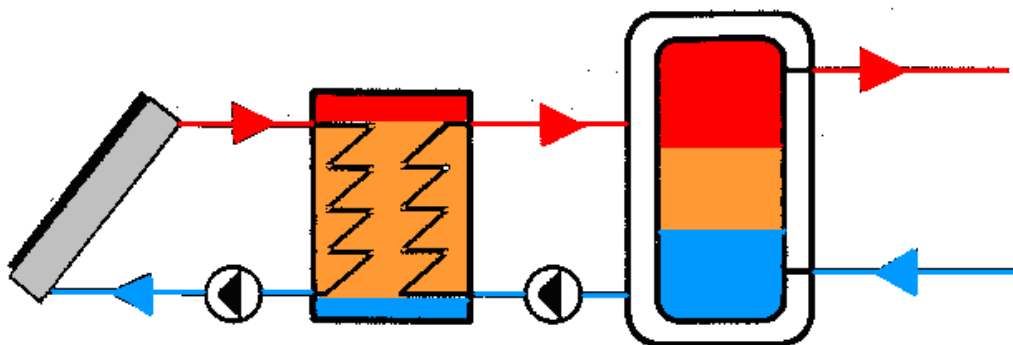


Figura 2.13. Instalación con intercambiador de calor externo.

2.2.2.3. CIRCUITOS PARA A.C.S.

Los sistemas más comunes para la producción de agua caliente sanitaria con energía solar son:

Sistemas no compactos:

Estos sistemas incorporan un intercambiador entre los captadores y el acumulador con la finalidad de separar la instalación en dos circuitos y evitar que haya contacto entre el fluido que circula por los captadores solares (normalmente con anticongelante) y el agua de consumo. Los dos circuitos son el *circuito primario*, aquel que contiene el subconjunto captador, y el circuito secundario, el del agua de consumo (Agua Caliente Sanitaria).

En la siguiente figura se presenta el circuito típico para una instalación solar de A.C.S. con intercambiador de calor interno, en el cual el intercambiador se encuentra dentro del depósito de acumulación.

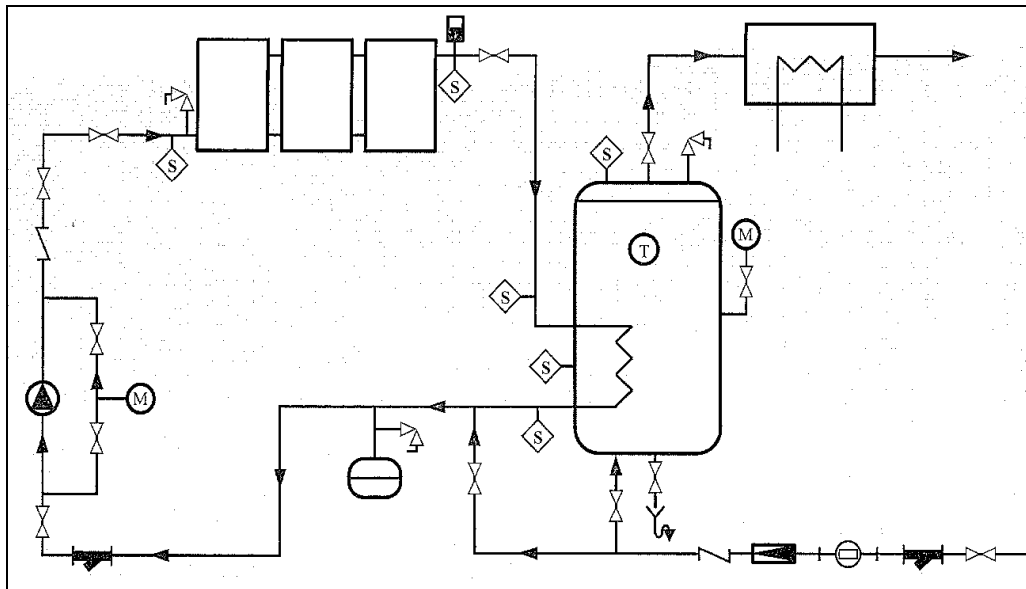


Figura 2.14. Instalación solar de ACS con intercambiador de calor interno.

En esta otra figura se representa una instalación solar de A.C.S. con intercambiador de calor externo, en la que el intercambiador se encuentra fuera del acumulador.

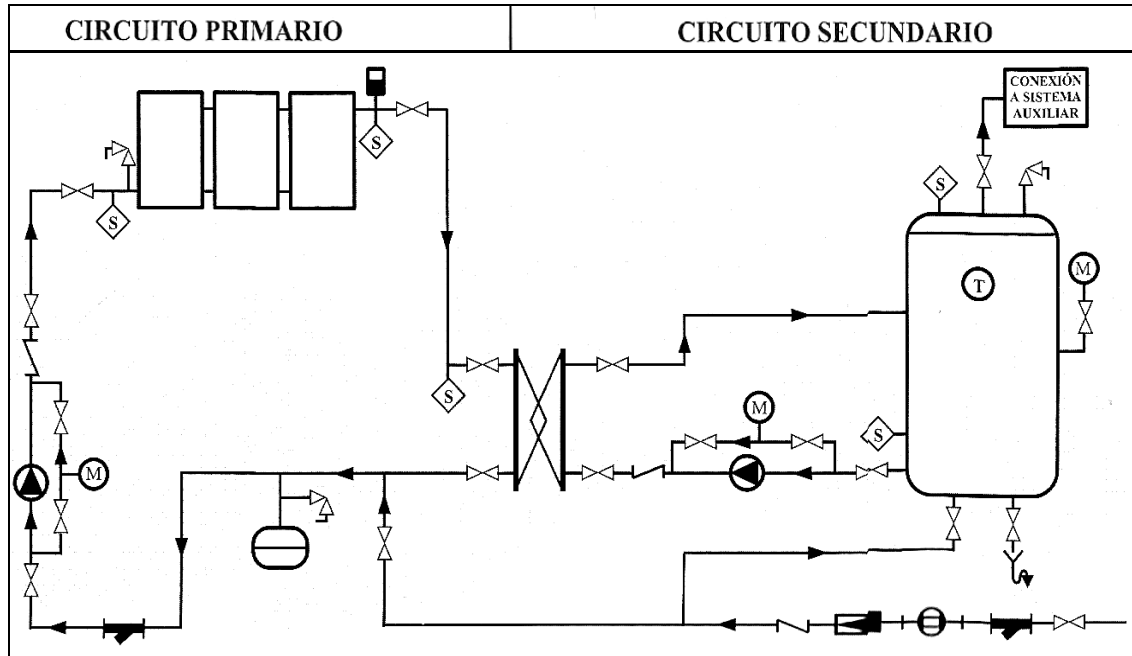


Figura 2.15. Instalación solar de ACS con intercambiador de calor externo.

Sistemas compactos:

Un equipo compacto integra uno o varios captadores, un acumulador y otros accesorios en un reducido espacio.

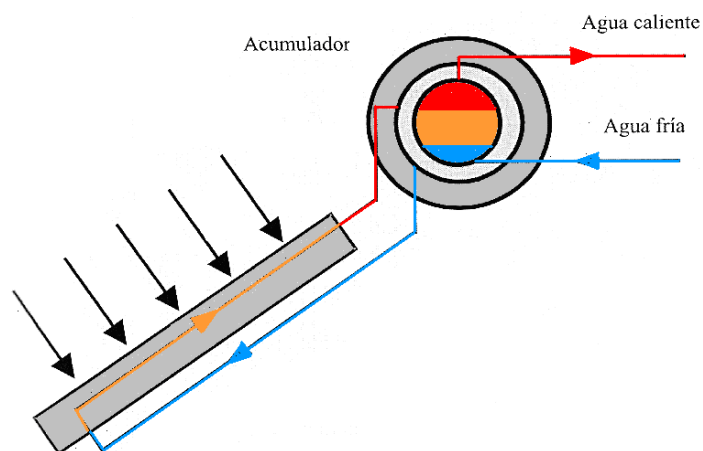


Figura 2.16. Sistema compacto.

Se utilizan en viviendas unifamiliares y, en general, en pequeñas instalaciones donde se requiere una superficie captadora muy pequeña (8 m^2 como máximo).

Como norma general, los equipos termosifónicos utilizan sistema de calentamiento indirecto a fin de evitar la congelación del agua contenida en los colectores, si bien en estas instalaciones se deberá prestar especial atención a la posible congelación del circuito secundario.

A la hora de instalar un sistema compacto debe prestarse especial atención a la interconexión con el sistema convencional, distancias elevadas, anclaje a cubierta, ausencia de acumulador del sistema convencional, etc.

A continuación podemos ver un equipo termosifónico.



Figura 2.17. Equipo Termosifónico.



3. DIMENSIONADO PREVIO DE LA INSTALACIÓN

3. DIMENSIONADO PREVIO

3.1. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El edificio sobre el que se apoyará este proyecto, y para el cual se va a realizar el dimensionado de una instalación de energía solar térmica para la producción de Agua Caliente Sanitaria, es un edificio multifamiliar situado en la localidad de Cáceres. Además describiremos sus componentes y el funcionamiento de la instalación completa.

El edificio consta de **10 viviendas unifamiliares** distribuidas en 4 plantas:

- Sótano: esta planta está compuesta por una zona destinada a las plazas de aparcamiento de los vehículos, otra destinada a los trasteros de las viviendas y una pequeña zona destinada a la sala de máquinas de las instalaciones comunes del edificio.
- Planta baja: esta planta está compuesta por 4 viviendas de una sola planta, las cuales tienen diferentes dimensiones.
- Primera planta: esta planta está compuesta por 6 viviendas, una vivienda de una sola planta y las 5 viviendas restantes son dúplex, las cuales tienen su primera altura en esta planta.
- Ático: esta planta está compuesta por la segunda altura de los 5 dúplex del edificio.

Para más detalle ver planos del edificio en el **ANEXO 1**. Estos planos han sido facilitados por el Departamento de Ingeniería Térmica de la Universidad Carlos III de Madrid.

Para realizar los cálculos de consumo de A.C.S. del edificio se ha estimado el número de ocupantes en función del número de camas que encontramos en los planos del mismo. Así hemos concluido que la ocupación del edificio será de un total de 24 personas, y tomando un consumo por persona de 22 l/día tal y como recomienda el CTE (Código Técnico de la Edificación) para este tipo de edificios (multivivienda).

Una parte importante en esta primera descripción es el tejado del edificio, debido a que es una zona especialmente crítica para nuestro proyecto ya que es el lugar donde irán colocados los captadores solares, también denominados paneles solares. Estudiando los planos del edificio vemos que el tejado tiene una inclinación respecto a la horizontal de 25°, vertiendo a dos aguas, por lo que nos resultará muy cómodo y fácil colocar nuestros captadores solares, los cuales serán anclados al tejado del edificio. Así debemos tener en cuenta la influencia de los distintos factores que nos marcarán ubicación exacta de los captadores solares, y estos factores serán: el área de captación total (es la suma de las áreas de los paneles necesarios), la zona del tejado orientada al sur, y la minimización del recorrido de tubos por el exterior del edificio, para que las pérdidas sean mínimas.

La sala técnica, o sala de máquinas, estará ubicada en el sótano del edificio. De este modo colocaremos toda la maquinaria de la instalación en la sala dedicada única y exclusivamente para albergar las distintas instalaciones del edificio, sin necesidad de habilitar o construir ninguna sala específica para la instalación, sin perder zonas de aparcamiento o zonas comunes del edificio.

En la sala técnica será donde se encuentren los acumuladores, la caldera, las bombas, los vasos de expansión, el intercambiador y todos demás elementos de la instalación salvo los captadores solares.

Para más detalle de sus ubicaciones ver planos del edificio en el **ANEXO 1**.

Para terminar, cabe destacar el lugar por donde irán los tubos de nuestra instalación, desde los captadores solares del tejado del edificio hasta el acumulador situado en la sala de máquinas del sótano, y el lugar más adecuado es por los patinillos de instalaciones, que son unos huecos dispuestos en las zonas comunes del edificio especialmente reservados para instalaciones de este tipo de uso común.

Para más detalle ver planos del edificio en el **ANEXO 1**.

Según vayamos desarrollando el proyecto iremos explicando con más detalle el por qué de cada uno de los casos expuestos en esta primera descripción inicial.

3.2. DATOS DE PARTIDA

Previamente al dimensionado de la instalación de energía solar, es necesario conocer una serie de datos de partida:

- Condiciones de uso de la instalación: en nuestro caso A.C.S.
- Datos climatológicos: radiación sobre los captadores, temperatura exterior, temperatura de agua de red.
- Datos geográficos: latitud del lugar de ubicación de los captadores.

Los datos que hemos utilizado han sido obtenidos de diversas fuentes de información pero normalmente hemos utilizado los datos que no proporciona el Plan Solar de Extremadura, al cual se acoge nuestra instalación, y haciendo uso también de tablas de datos proporcionadas por el Centro de Estudios de Energía Solar y del Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura que nos proporcionó el Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos de la Universidad Carlos III de Madrid.

Según vayamos avanzando y desarrollando el proyecto especificaremos la fuente concreta de la que tomaremos los datos sobre los que basaremos nuestros cálculos en cada uno de los pasos realizados en el presente proyecto.

La normativa que aplicaremos y cumpliremos será la establecida por el nuevo Código Técnico de Edificación –CTE– (RD 314/2006, de 17 de Marzo) y a nivel autonómico cumpliremos con lo establecido en el Plan Solar de Extremadura.

3.2.1. CONDICIONES DE USO DE LA INSTALACIÓN. CONSUMO DE A.C.S.

Para obtener el consumo de A.C.S. de nuestra instalación podemos seguir varios métodos de estimación del consumo, como puede ser:

- **Directamente:** mediante los datos de consumo medidos en años anteriores proporcionados por el usuario (media directa del contador de agua caliente).
- **Con estimaciones:** cuando no se conocen los datos de la instalación, existen varias formas de poder estimarlos:

- Con facturas de combustible.

Cuando se conoce el consumo de combustible utilizado en cada mes para calentar el A.C.S., se puede calcular el consumo diario de A.C.S. en ese mes como:

$$\text{Litros / día} = \frac{\text{ConsumoCombustibleMensual} \times \text{PCI} \times \eta}{(T_{uso} - T_{\text{AguaFriaRed}}) \times \text{día/mes}}$$

donde:

- Consumo mensual de combustible (l, kg ó m³)
- PCI = Poder calorífico inferior del combustible (kcal/l, kg ó m³)
- η = Rendimiento del generador de calor existente.
- T_{uso}^a = Temperatura a la que se desea calentar el agua para su utilización.

Normalmente, el combustible se utiliza para calentar el A.C.S. y para calefacción, siendo conjunta la facturación. Para estimar el consumo de A.C.S. se considerará la facturación del consumo de combustible del período estival (junio, julio y agosto) libre de impuestos y gravámenes por suministro.

- **Con el consumo de agua fría**, estimando que el consumo de A.C.S. está comprendido entre el 25% y el 35% del consumo total de agua fría de red.
- **Por utilización de aparatos**, asignando consumos y caudales estimados a diversos aparatos de consumo como lavabos, duchas, lavadoras, etc.
- **A partir de los consumos unitarios y del porcentaje de ocupación**. Esta será la forma que emplearemos en nuestro caso.

Para obtener el consumo de A.C.S. del edificio debemos conocer primeramente la ocupación del edificio, para estimar el número total de personas que viven en él y por tanto consumen A.C.S.. Para realizar la estimación de la ocupación seguimos lo que nos indica el CTE: *“En el uso residencial vivienda el cálculo del número de personas por vivienda deberá hacerse utilizando como valores mínimos los que se relacionan a continuación.”*

| Número de dormitorios | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | más de 7 |
|-----------------------|-----|---|---|---|---|---|---|-------------------|
| Número de Personas | 1,5 | 3 | 4 | 6 | 7 | 8 | 9 | Nº de dormitorios |

Figura 3.1. Ocupación mínima en vivienda

Según la figura anterior obtenemos que la ocupación del edificio es de 20,5 personas que se redondea a 21 personas.

Aún así este dato no deja de ser un valor mínimo para la estimación de la ocupación del edificio, por lo que vamos a estimar la ocupación a partir de los planos del edificio, los cuales nos proporcionó el Departamento de Ingeniería Térmico y de Fluidos de la Universidad Carlos III de Madrid, en los que se ven las camas que hay en cada vivienda.

Así obtenemos una ocupación de nuestro edificio de 24 personas, que será el valor que utilizaremos para nuestros cálculos, por ser más restrictivo y debido al carácter de mínimo que tenía el valor anterior.

De este modo estimaremos la ocupación de nuestro edificio en **24 personas**, según el número de camas con que cuenta el edificio según los planos proporcionados, un consumo diario de **22 (l/persona)** (según CTE) y una **variación media del consumo mensual en viviendas** según lo establecido en la norma **DTIE 1.01** (Preparación de Agua Caliente para Usos Sanitarios), obtenemos los datos recogidos en la **Tabla 3.1.**

Consumos mensuales.

| Demanda de referencia a 60°C | | |
|---|------------------------|-------------------|
| Criterio de demanda | Litros ACS/día a 60° C | |
| Viviendas unifamiliares | 30 | por persona |
| Viviendas multifamiliares | 22 | por persona |
| Hospitales y clínicas | 55 | por cama |
| Hotel **** | 70 | por cama |
| Hotel *** | 55 | por cama |
| Hotel/Hostal ** | 40 | por cama |
| Camping | 40 | por emplazamiento |
| Hostal/Pensión * | 35 | por cama |
| Residencia (ancianos, estudiantes, etc) | 55 | por cama |
| Vestuarios/Duchas colectivas | 15 | por servicio |
| Escuelas | 3 | por alumno |
| Cuarteles | 20 | por persona |
| Fábricas y talleres | 15 | por persona |
| Administrativos | 3 | por persona |
| Gimnasios | 20 a 25 | por usuario |
| Lavanderías | 3 a 5 | por kilo de ropa |
| Restaurantes | 5 a 10 | por comida |
| Cafeterías | 1 | por almuerzo |

Figura 3.2. Demanda de referencia a 60°C, según CTE.

En la anterior figura podemos observar la tabla de demanda de A.C.S. estimada en litros dependiendo del uso del edificio. Los litros de ACS/día a 60°C de la tabla se han calculado a partir de la tabla 1 (Consumo unitario diario medio) de la norma UNE 94002:2005 “Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria: cálculo de la demanda energética”.

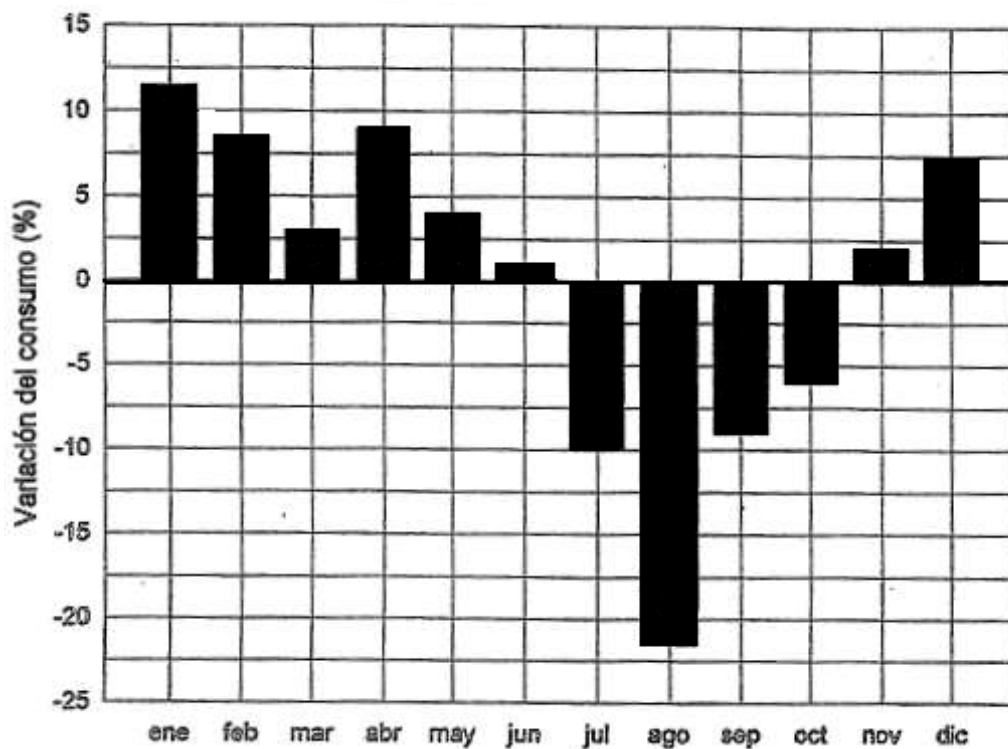


Figura 3.3. Variación media del consumo mensual en viviendas según la norma DTIE 1.01.

| MES | Número de días mes | Consumo mensual (l/mes) | % incremento de consumo mensual (DTIE 1.01) | Consumo mensual corregido (l/mes) |
|-------------|--------------------|-------------------------|---|-----------------------------------|
| Enero | 31 | 16.368 | 0,11 | 18.168,48 |
| Febrero | 28 | 14.784 | 0,08 | 15.966,72 |
| Marzo | 31 | 16.368 | 0,03 | 16.859,04 |
| Abril | 30 | 15.840 | 0,09 | 17.265,60 |
| Mayo | 31 | 16.368 | 0,04 | 17.022,72 |
| Junio | 30 | 15.840 | 0,01 | 15.998,40 |
| Julio | 31 | 16.368 | -0,1 | 14.731,20 |
| Agosto | 31 | 16.368 | -0,23 | 12.603,36 |
| Septiembre | 30 | 15.840 | -0,09 | 14.414,40 |
| Octubre | 31 | 16.368 | -0,06 | 15.385,92 |
| Noviembre | 30 | 15.840 | 0,02 | 16.156,80 |
| Diciembre | 31 | 16.368 | 0,075 | 17.595,60 |
| Media anual | 30,42 | 16.060 | -0,0021 | 16.014,02 |

Tabla 3.1. Consumos mensuales.

El cálculo del Consumo Diario Promedio Anual es el siguiente:

$$m_{Cons.Día} = 24 \cdot (personas) \cdot 22 \cdot (litros / persona) = 528 \cdot (litros) = 0,528 \cdot (m^3)$$

Lo que a nosotros nos interesa es el **flujo másico**. Para realizar los cálculos vamos a establecer este valor en función del tiempo (horas de sol), dividiendo entre las horas anuales medias de sol el Consumo Diario Promedio Anual calculado anteriormente:

$$\dot{m}_{cons} = \frac{0,528 \cdot (m^3)}{8,92 \cdot (h) \cdot 3600 \cdot \left(\frac{s}{h}\right)} = 1,64 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{m^3}{s}\right)$$

En nuestro caso el fluido que utilizaremos será agua y por lo tanto tendrá una densidad $\rho = 1000 \cdot (kg / m^3)$, por lo que nuestro **caudal másico promedio anual** será:

$$\dot{m}_{cons} = \dot{m}_{cons} \cdot \rho = 1,64 \cdot 10^{-5} \cdot \left(m^3 / s\right) \cdot 1000 \cdot \left(kg / m^3\right) = 1,64 \cdot 10^{-2} \cdot (kg / s)$$

De este modo, seguiremos este procedimiento de cálculo para hallar los caudales másicos mensuales.

Así, establecemos un **caudal (m^3/s)** dividiendo los consumos mensuales corregidos $\left(\frac{l}{mes}\right)$ de nuestra instalación y dividiendo entre las horas de sol diarias medias para cada mes $\left(\frac{h}{dia}\right)$, entre 3600 $\left(\frac{s}{h}\right)$, entre el número de días que tiene el mes y entre 1000 $\left(\frac{l}{m^3}\right)$, como indica la siguiente expresión:

$$\dot{m}_{cons} \left(\frac{m^3}{s} \right) = \left(\frac{Cons_{mensual corregido} \cdot \left(\frac{l}{mes} \right)}{días_{mes} \cdot \left(\frac{dia}{mes} \right) \cdot horas_{sol.dia} \cdot \left(\frac{h}{dia} \right) \cdot 3600 \cdot \left(\frac{s}{h} \right) \cdot 1000 \cdot \left(\frac{l}{m^3} \right)} \right)$$

Ahora ya podemos establecer el **caudal másico (Kg/s)**, simplemente multiplicando por la densidad como en el caso promedio anual, tal y como muestra la siguiente expresión:

$$\dot{m}_{cons} \cdot \left(\frac{Kg}{s} \right) = \dot{m}_{cons} \cdot \left(m^3/s \right) \cdot \rho \cdot \left(kg/m^3 \right)$$

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos:



| MES | Consumo mensual corregido (l/mes) | Horas de sol (h) | Consumo mensual corregido (m ³ /s) | Caudal másico (Kg/s) |
|-------------|-----------------------------------|------------------|---|----------------------|
| Enero | 18.168,48 | 8,00 | $2,04 \cdot 10^{-5}$ | $2,04 \cdot 10^{-2}$ |
| Febrero | 15.966,72 | 9,00 | $1,76 \cdot 10^{-5}$ | $1,76 \cdot 10^{-2}$ |
| Marzo | 16.859,04 | 9,00 | $1,68 \cdot 10^{-5}$ | $1,68 \cdot 10^{-2}$ |
| Abril | 17.265,60 | 9,50 | $1,68 \cdot 10^{-5}$ | $1,68 \cdot 10^{-2}$ |
| Mayo | 17.022,72 | 9,50 | $1,61 \cdot 10^{-5}$ | $1,61 \cdot 10^{-2}$ |
| Junio | 15.998,40 | 9,50 | $1,56 \cdot 10^{-5}$ | $1,56 \cdot 10^{-2}$ |
| Julio | 14.731,20 | 9,50 | $1,39 \cdot 10^{-5}$ | $1,39 \cdot 10^{-2}$ |
| Agosto | 12.603,36 | 9,50 | $1,19 \cdot 10^{-5}$ | $1,19 \cdot 10^{-2}$ |
| Septiembre | 14.414,40 | 9,00 | $1,48 \cdot 10^{-5}$ | $1,48 \cdot 10^{-2}$ |
| Octubre | 15.385,92 | 9,00 | $1,53 \cdot 10^{-5}$ | $1,53 \cdot 10^{-2}$ |
| Noviembre | 16.156,80 | 8,00 | $1,87 \cdot 10^{-5}$ | $1,87 \cdot 10^{-2}$ |
| Diciembre | 17.595,60 | 7,50 | $2,10 \cdot 10^{-5}$ | $2,10 \cdot 10^{-2}$ |
| Media anual | 16.014,02 | 8,92 | $1,64 \cdot 10^{-5}$ | $1,64 \cdot 10^{-2}$ |

Tabla 3.2. Caudal másico mensual

Así comprobamos que el **caudal másico promedio anual** coincide con el calculado anteriormente.

Los valores de número de horas diarias de sol útiles para captadores orientados aproximadamente al ecuador e inclinados con un ángulo igual a la latitud han sido proporcionados por el Departamento de Ingeniería Térmica de la Universidad Carlos III de Madrid, según la tabla que se muestra a continuación:

| Latitud | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| De +25° a +45° (Hemisferio Norte) | 8 | 9 | 9 | 9,5 | 9,5 | 9,5 | 9,5 | 9,5 | 9 | 9 | 8 | 7,5 |

Tabla 3.3. Número medio de horas diarias de sol útiles para captadores.

3.2.2. DATOS CLIMATOLÓGICOS

Del mismo modo, para diseñar una instalación solar necesitamos conocer, para cada mes, las condiciones climatológicas de la región en la que se encuentra ubicado el edificio sobre el que realizaremos la instalación, que en nuestro caso está en Cáceres. Las condiciones climatológicas que necesitamos conocer son:

- Radiación horizontal e inclinada que incide sobre el captador.
- Horas útiles que incide la radiación solar.
- Temperatura ambiente
- Temperatura de agua de red.

Estos datos los obtendremos de bases estadísticas de Centros Meteorológicos.

Radiación sobre superficie horizontal (H):

A continuación podemos observar la tabla que muestra los valores de la radiación solar sobre superficie horizontal en (MJ/m^2), según indica la tabla del Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura (Fuente: CENSOLAR), para la Provincia de Cáceres:

Energía en megajulios que incide sobre un metro cuadrado de superficie horizontal en un día medio de cada mes. (Fuente: CENSOLAR).

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | AÑO |
|-------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|
| 11 CÁ CERES | 6,8 | 10 | 14,7 | 19,6 | 22,1 | 25,1 | 28,1 | 25,4 | 19,7 | 12,7 | 8,9 | 6,6 | 16,6 |

Tabla 3.4. Radiación sobre superficie horizontal (MJ/m^2).

Para más detalle se puede observar la tabla completa en el **ANEXO 3**.

A continuación, podemos observar la tabla que muestra los valores de la radiación solar sobre superficie horizontal en ($\text{KW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$) que utilizaremos para nuestros cálculos, la cual ha sido calculada según la siguiente igualdad:

$$1\text{ kWh} = 3,6\text{ MJ}$$

| Mes | H($\text{KW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$) |
|------------|--|
| Enero | 1,89 |
| Febrero | 2,78 |
| Marzo | 4,08 |
| Abril | 5,44 |
| Mayo | 6,14 |
| Junio | 6,97 |
| Julio | 7,81 |
| Agosto | 7,06 |
| Septiembre | 5,47 |
| Octubre | 3,53 |
| Noviembre | 2,47 |
| Diciembre | 1,83 |
| Media Año | 4,61 |

Tabla 3.5. Radiación sobre superficie horizontal ($\text{KW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$).

Radiación sobre superficie horizontal modificada:

En ciertas ocasiones se debe tener en cuenta la situación de la instalación que estamos diseñando, porque puede modificar el valor de la radiación sobre superficie horizontal. Así, esta variaría en función de un factor de corrección que depende de la situación de la instalación solar:

- 0,95 si la instalación está dentro de un casco urbano.
- 1,05 si está en atmósfera limpia o está en una zona de montaña.
- Coeficientes de corrección más severos en el caso de prever importantes sombras en invierno.

Para el cálculo de nuestra instalación no hemos utilizado ninguno de estos factores de corrección, nos hemos limitado a corregir la radiación según lo explicado a continuación.

Radiación sobre superficie inclinada (E):

La radiación incidente sobre la superficie inclinada del plano de los captadores, es la energía total teórica que se puede esperar que incida en un día medio del mes considerado, por cada metro cuadrado de captador.

Para conocerla se multiplica la radiación sobre superficie horizontal H por el coeficiente correspondiente a la inclinación elegida k.

$$E(MJ / m^2) = H \cdot k$$

El coeficiente k representa el cociente entre la energía total incidente en un día sobre una superficie orientada hacia el Ecuador e inclinada un determinado ángulo y otra horizontal. Este valor varía para cada uno de los meses del año, como veremos a continuación.

Los coeficientes utilizados para el cálculo de nuestra instalación han sido obtenidos de las tablas proporcionadas en el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura, cuya fuente es el Centro de Estudios de Energía Solar (Censolar), como indica el Plan Solar de Extremadura, por ser datos concretos, establecidos según la latitud de la localidad y la inclinación de los paneles captadores.

La inclinación de los paneles respecto a la horizontal está establecida de forma general según el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura, como marca el Plan de Solar de Extremadura, de forma que la mejor inclinación, β_{opt} , dependiendo del período de utilización, uno de los valores siguientes:

- Consumo constante anual: la latitud geográfica.
- Consumo preferente en invierno: la latitud geográfica + 10°.
- Consumo preferente en verano: la latitud geográfica - 10°.

De este modo, como el consumo de ACS es un consumo constante anual, la inclinación de los captadores solares debería ser la latitud del lugar, si los paneles estuvieran situados en una terraza, superficie horizontal, donde pudiéramos escoger la inclinación. En nuestro caso la inclinación de los paneles vendrá determinada por la inclinación del tejado de nuestro edificio, que como ya hemos comentado anteriormente es de 25°.

Los siguientes datos han sido extraídos de la tabla del **ANEXO 1**, obtenida del Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura, como se puede observar a continuación.

Altitud, latitud, longitud y temperatura mínima histórica (la más baja que se haya medido desde el primer año del que se conservan registros de datos). (Fuente: CENSOLAR).

| PROVINCIA | ALTITUD (m) (de la capital) | LATITUD (°) (de la capital) | LONGITUD (°) (de la capital) | TEMP. MÍNIMA HISTÓRICA (°C) |
|------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 11 CÁCERES | 459 | 39,5 | 6,4 W | -6 |

Tabla 3.6. Altitud, Latitud y Temperatura mínima histórica de Cáceres.

Para más detalle se puede observar la tabla completa en el **ANEXO 3**.

Por tanto los datos nuestra instalación serán:

- Localidad: **Cáceres**.
- Latitud: **39,5°**.
- Inclinación paneles: **25°**.

Según la Tabla “Factor de corrección k para superficies inclinadas” del ANEXO X del Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura, debemos interpolar entre los valores para la latitud 39° y 40° , con una inclinación de 25° respecto la horizontal, para obtener nuestra tabla para una latitud de $39,5^\circ$ con una inclinación de 25° respecto la horizontal, que es el caso de nuestra instalación, tal y como se muestra a continuación en las tablas 3.7 y 3.8:

Factor de corrección k para superficies inclinadas. Representa el cociente entre la energía total incidente en un día sobre una superficie orientada hacia el ecuador e inclinada un determinado ángulo, y otra horizontal. (Fuente: CENSOLAR).

LATITUD = 39°

| Incli. | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|--------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| 25 | 1,29 | 1,23 | 1,15 | 1,07 | 1,02 | 1 | 1,02 | 1,08 | 1,18 | 1,29 | 1,36 | 1,35 |

LATITUD = 40°

| Incli. | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|--------|-----|------|------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|
| 25 | 1,3 | 1,23 | 1,16 | 1,08 | 1,02 | 1 | 1,02 | 1,09 | 1,19 | 1,3 | 1,38 | 1,36 |

Tabla 3.7. Factores de corrección k .

Por tanto para nuestro caso el **factor de corrección k** será:

| Mes | k ($39,5^\circ$; 25°) |
|------------|-----------------------------------|
| Enero | 1,30 |
| Febrero | 1,23 |
| Marzo | 1,16 |
| Abril | 1,08 |
| Mayo | 1,02 |
| Junio | 1,00 |
| Julio | 1,02 |
| Agosto | 1,09 |
| Septiembre | 1,19 |
| Octubre | 1,30 |
| Noviembre | 1,37 |
| Diciembre | 1,36 |
| Media Año | 1,17 |

Tabla 3.8. Factor de corrección k (Cáceres).

A continuación se puede observar la tabla de cálculo de ***E (Radiación sobre superficie inclinada)*** y la ***H_{corregida}*** para cada mes, a partir de los valores de ***H (Radiación sobre superficie horizontal)*** y los valores de ***k (Factor de corrección para superficies inclinadas)***, aplicando las siguientes ecuaciones:

$$E(MJ/m^2) = H_{corregida}(kWh/m^2) \cdot 3,6$$

$$1kWh = 3,6MJ$$

| Mes | H(KW·h/m ²) | k | H corregida (KW·h/m ²) | E (MJ/m ²) |
|------------|-------------------------|------|------------------------------------|------------------------|
| Enero | 1,89 | 1,30 | 2,45 | 8,81 |
| Febrero | 2,78 | 1,23 | 3,42 | 12,30 |
| Marzo | 4,08 | 1,16 | 4,72 | 16,98 |
| Abril | 5,44 | 1,08 | 5,85 | 21,07 |
| Mayo | 6,14 | 1,02 | 6,26 | 22,54 |
| Junio | 6,97 | 1,00 | 6,97 | 25,10 |
| Julio | 7,81 | 1,02 | 7,96 | 28,66 |
| Agosto | 7,06 | 1,09 | 7,66 | 27,56 |
| Septiembre | 5,47 | 1,19 | 6,48 | 23,34 |
| Octubre | 3,53 | 1,30 | 4,57 | 16,45 |
| Noviembre | 2,47 | 1,37 | 3,39 | 12,19 |
| Diciembre | 1,83 | 1,36 | 2,48 | 8,94 |

| | | |
|-----------|------|-------|
| Media Año | 5,18 | 18,66 |
|-----------|------|-------|

Tabla 3.9. Radiación sobre superficie horizontal corregida.

Horas útiles de sol. Intensidad radiante (I):

Las horas útiles de sol corresponden al tiempo que el sol está en el horizonte, descontando las horas iniciales y finales del día.

Este valor permite calcular la intensidad radiante por unidad de superficie y tiempo, es decir, en función de los valores de ***H (Radiación sobre superficie horizontal)***, de los valores de ***k (Factor de corrección para superficies inclinadas)*** y de las ***Horas útiles de sol***, como se puede apreciar en la siguiente expresión:

$$I(kW/m^2) = \frac{H \cdot k}{HorasSol}$$

Los datos utilizados para los cálculos de nuestra instalación concreta son los proporcionados por el Plan Solar de Extremadura, el cual nos remite a los correspondientes al Pliego de Condiciones Técnicas para Instalaciones de Baja Temperatura.

A continuación se puede observar la tabla de cálculo de I (Intensidad radiante), a partir de los valores de H (Radiación sobre superficie horizontal), de las horas de sol y de los valores de k (Factor de corrección para superficies inclinadas) para cada mes del año.

| Mes | H(KW·h/m ²) | Horas de sol | k | I(KW/m ²) |
|-------------------|-------------------------|--------------|------|-----------------------|
| Enero | 1,89 | 8,00 | 1,30 | 0,31 |
| Febrero | 2,78 | 9,00 | 1,23 | 0,38 |
| Marzo | 4,08 | 9,00 | 1,16 | 0,52 |
| Abril | 5,44 | 9,50 | 1,08 | 0,62 |
| Mayo | 6,14 | 9,50 | 1,02 | 0,66 |
| Junio | 6,97 | 9,50 | 1,00 | 0,73 |
| Julio | 7,81 | 9,50 | 1,02 | 0,84 |
| Agosto | 7,06 | 9,50 | 1,09 | 0,81 |
| Septiembre | 5,47 | 9,00 | 1,19 | 0,72 |
| Octubre | 3,53 | 9,00 | 1,30 | 0,51 |
| Noviembre | 2,47 | 8,00 | 1,37 | 0,42 |
| Diciembre | 1,83 | 7,50 | 1,36 | 0,33 |

Media Año

0,57

Tabla 3.10 Intensidad radiante.

Los valores de número de horas diarias de sol útiles han sido tomados de la **Tabla 3.3. Número medio de horas diarias de sol útiles para captadores**, proporcionada por el Departamento de Ingeniería Térmica de la Universidad Carlos III de Madrid.

Temperatura ambiente media (T_0):

Para obtener la Temperatura Ambiente Media utilizaremos los datos proporcionados por la tabla de Temperaturas mensuales por Provincia del Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura (fuente: Censolar), como recomienda el Plan Solar de Extremadura.

A continuación podemos ver la tabla de datos utilizados:

Temperatura ambiente media durante las horas de sol, en °C. (Fuente: CENSOLAR).

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | AÑO |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 11 CÁCERES | 10 | 11 | 14 | 16 | 19 | 25 | 28 | 28 | 25 | 19 | 14 | 10 | 18,3 |

Tabla 3.11. Temperatura ambiente de la localidad.

Para más detalle se puede observar la tabla completa en el **ANEXO 3**.

Temperatura de agua de red (T_{red}):

Para obtenerlas temperaturas de agua fría (°C), mensual y media anual los cuales necesitaremos para los cálculos de la instalación, tomamos los que indica la tabla de datos mensuales por Provincia del Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura (fuente: Censolar), como recomienda el Plan Solar de Extremadura.

Tabla 4. Temperatura media del agua de la red general, en °C. (Fuente: CENSOLAR).

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | AÑO |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 11 CÁCERES | 6 | 7 | 9 | 11 | 12 | 13 | 14 | 13 | 12 | 11 | 9 | 6 | 10,3 |

Tabla 3.12. Temperatura del agua de red de la localidad.

Para más detalle se puede observar la tabla completa en el **ANEXO 3**.



3.2.3. DATOS GEOGRÁFICOS.

El dato geográfico más importante y crítico para el cálculo de la instalación es la latitud, ya que esta es la que nos marca la inclinación de los paneles de captación.

Datos geográficos de la localidad de Cáceres:

- **Latitud:** 39,5
- **Altitud:** 459 m
- **Longitud:** 6,4°

Estos datos han sido extraídos de la tabla del ANEXO X del Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura, como se puede observar en la Tabla 3.6.

Para más detalle se puede observar la tabla completa en el **ANEXO 3**.

3.3. DEMANDA ENERGÉTICA DE A.C.S.

Para calcular la demanda energética de Agua Caliente Sanitaria de nuestra instalación debemos conocer con la mayor precisión posible, la carga térmica total de la instalación.

Dicha “carga térmica”, será la demanda energética de la instalación, que en este caso y por tratarse de Agua Caliente Sanitaria es directamente proporcional al consumo de la misma.

Así tomando una temperatura de salida del acumulador de 60 °C como exige el Real Decreto 865/2003 y una temperatura inicial de esta (procedente de la red de distribución general, T_{red}), calculamos mediante la siguiente fórmula la cantidad de energía necesaria para obtener Agua Caliente Sanitaria a la temperatura exigida:

$$\dot{Q}(MJ) = \dot{m}(Kg) \cdot C_p (KJ / ^\circ C \cdot Kg) \cdot (T_{uso} - T_{red})(^\circ C)$$

donde:

- \dot{Q} = Carga o energía calorífica necesaria (MJ)
- \dot{m} = A.C.S. mensual consumida (kg)
- C_p = Calor específico del agua = 4,18 (kJ/°C·kg)
- $(T_{uso} - T_{red})$ = salto térmico (°C) que se proporciona al agua de red para alcanzar los 60°C.

A continuación se muestra en forma de tabla de datos la demanda de energía para A.C.S de nuestra instalación:

| Mes | Consumo mensual corregido (Kg/mes) | T _{red} ^a (°C) | Salto térmico(°C) | Q (MJ) |
|------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|------------------|
| Enero | 18.168,48 | 6 | 54 | 4.100,99 |
| Febrero | 15.966,72 | 7 | 53 | 3.537,27 |
| Marzo | 16.859,04 | 9 | 51 | 3.594,01 |
| Abril | 17.265,60 | 11 | 49 | 3.536,34 |
| Mayo | 17.022,72 | 12 | 48 | 3.415,44 |
| Junio | 15.998,40 | 13 | 47 | 3.143,05 |
| Julio | 14.731,20 | 14 | 46 | 2.832,52 |
| Agosto | 12.603,36 | 13 | 47 | 2.476,06 |
| Septiembre | 14.414,40 | 12 | 48 | 2.892,11 |
| Octubre | 15.385,92 | 11 | 49 | 3.151,34 |
| Noviembre | 16.156,80 | 9 | 51 | 3.444,31 |
| Diciembre | 17.595,60 | 6 | 54 | 3.971,68 |
| Media Año | | 10,25 | 49,75 | 3.341,26 |
| Total Año | | | | 40.095,10 |

Tabla 3.13. Demanda energética del edificio.

La temperatura del agua de la red corresponde a la temperatura de la provincia de Cáceres como se puede observar en la **Tabla 3.12**.

Sumando las demandas mensuales de energía del edificio obtenemos la **demanda anual de energía**, y este valor es de **40.095,10 MJ**.

Demanda de ACS

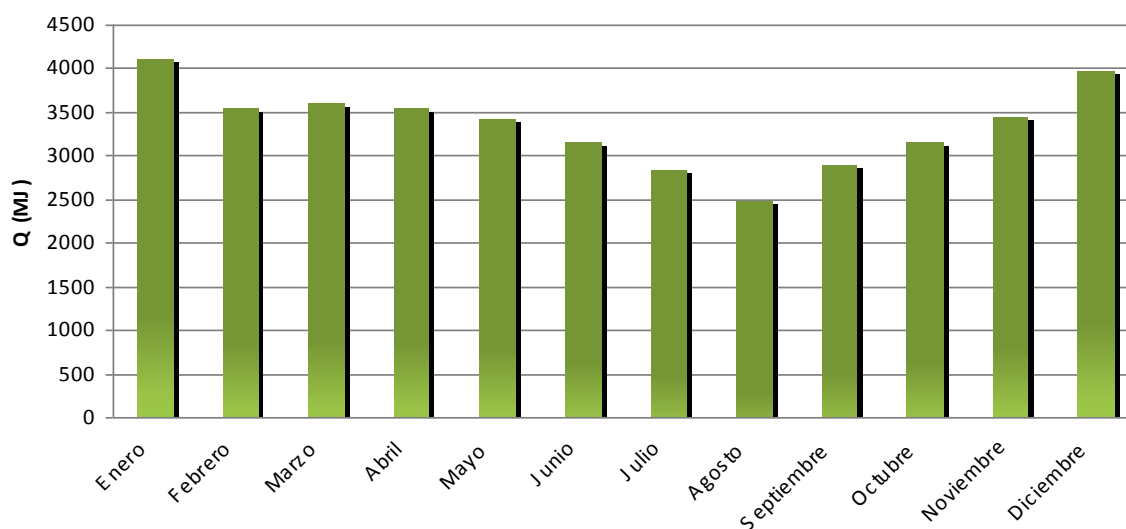


Figura 3.4. Demanda de ACS.

3.4. CÁLCULO DE LA SUPERFICIE CAPTADORA.

3.4.1. ESQUEMA GENERAL DE LA INSTALACIÓN.

Una instalación solar de agua caliente sanitaria tiene como objetivo principal transformar la energía radiante emitida por el sol en energía térmica y acumularla en forma de agua caliente para su consumo posterior. En la figura 3.2 se muestra un esquema de instalación solar térmica.

La instalación de nuestro edificio será un sistema no compacto, con intercambiador externo, es decir fuera del acumulador. La instalación solar consta de dos circuitos principales:

- Circuito primario: es el circuito donde se produce la generación de energía solar térmica y está formado por los captadores, las tuberías que los unen y un vaso de expansión y una bomba de circulación, en el que el fluido de trabajo (fluido que circula por el sistema de captación) recoge la energía térmica producida en los captadores y la transfiere al circuito secundario a través de un intercambio de calor.
- Circuito secundario: circuito en el que se recoge la energía captada en el circuito primario y llega a los puntos de consumo. Se compone principalmente de un sistema de acumulación, un intercambiador de calor, el agua potable de consumo y un sistema auxiliar.

El elemento que une el circuito primario y el secundario es el intercambiador de calor que realiza la transferencia de energía térmica entre el fluido de trabajo o caloportador que circula por el circuito primario y el agua que circula por el circuito secundario. Además evita que haya contacto entre estos dos fluidos ya que uno de los principios básicos para el óptimo aprovechamiento de la energía solar térmica es “*no juntar la energía solar con la convencional*”, es decir, no mezclar el fluido precalentado por los colectores con la que lo ha sido mediante energía auxiliar. Para más detalle ver Figura 4.1.

3.4.2. PROCESO DE CÁLCULO.

A continuación pasamos a exponer cada uno de los pasos y cálculos utilizados para obtener el área de los captadores.

Para realizar el cálculo del área de los captadores hacemos un balance energético en los distintos elementos del sistema y, además, teniendo en cuenta las variables más características del diseño del sistema como son la eficiencia del intercambiador, la estratificación del tanque y la contribución solar mínima, obtendremos un sistema de siete ecuaciones con 7 incógnitas que nos permitirán obtener el área de los captadores como pasamos a describir a continuación.

A continuación podemos ver el esquema básico de un sistema de ACS con placas solares, el cual usaremos como modelo para plantear nuestras ecuaciones y realizar nuestros cálculos posteriores.

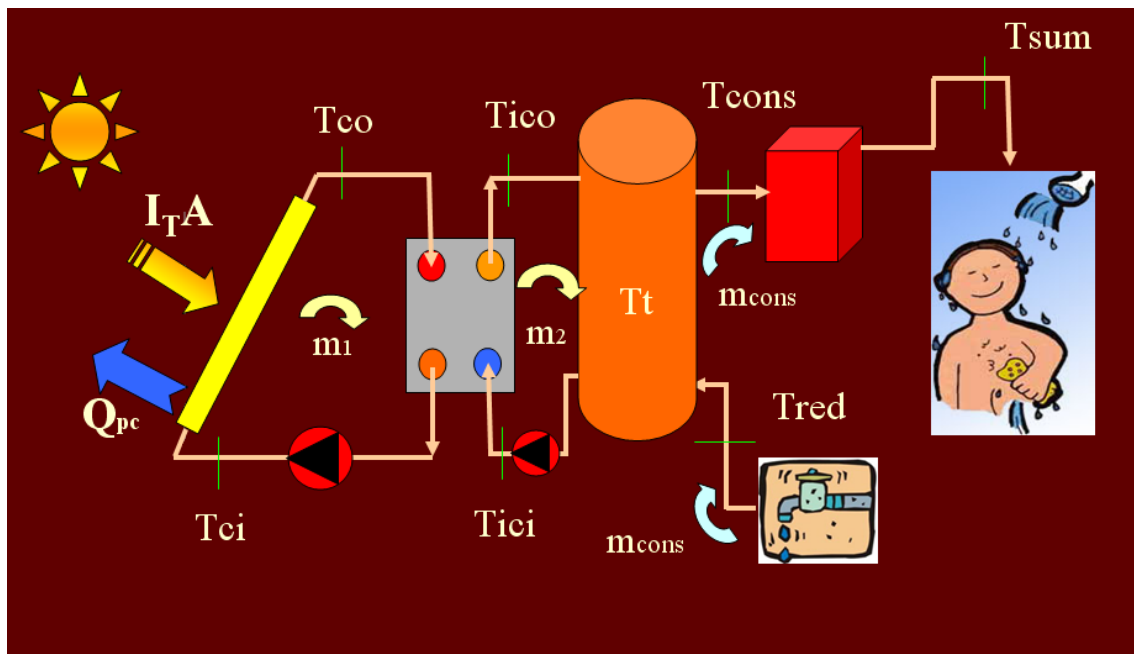


Figura 3.5. Sistema de ACS sobre el que se realizarán los balances energéticos.

Como veremos a continuación, tenemos un sistema de **7 ecuaciones** con **7 incógnitas**, el cual queda perfectamente definido siguiendo los siguientes pasos:

- Lo primero que haremos es enumerar nuestros **datos de partida**:

Circuito primario:

- Radiación sobre el plano horizontal. Irradiación, I (varía según el mes).
- Coeficientes de rendimiento del colector η_c (a_0 , a_1).
- Densidad del fluido caloportador (ρ_1).
- Calor específico del fluido caloportador (C_{p1}).
- Caudal másico del fluido caloportador.
- Temperatura del ambiente, T_o (varía según el mes).

Circuito secundario:

- Caudal másico de consumo (varía según el mes).
- Caudal másico del fluido del circuito secundario.
- Densidad del agua de consumo (ρ_{cons}).
- Calor específico del agua de consumo (C_{pcons}).
- Densidad del fluido del circuito secundario (ρ_2).
- Calor específico del fluido del circuito secundario (C_{p2}).
- Temperatura de agua de red, T_{red} (varía según el mes).

- A continuación enumeraremos las **incógnitas**:

Circuito primario:

- Temperatura de entrada a colectores (T_{ci}).
- Temperatura de salida de colectores (T_{co}).
- Área de la superficie captadora (A).

Circuito secundario:

- Temperatura de entrada al intercambiador (T_{ici}).
- Temperatura de salida del intercambiador (T_{ico}).
- Temperatura media del Tanque/Acumulador (T_t).
- Temperatura del agua de consumo (T_{cons}).

- El siguiente paso es plantear el sistema de **ecuaciones**:

- Balance de energía en los colectores solares:

Aplicando el primer principio de la termodinámica sobre nuestros colectores, tendremos:

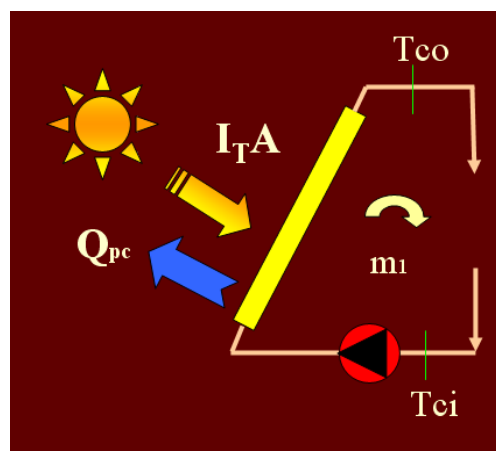


Figura 3.6. Balance de energía en colectores.

Primer Principio de la Termodinámica:

$$\frac{dE_c}{dt} = I \cdot A - \dot{Q}_{pc} - \dot{m}_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{co} - T_{ci}) = I \cdot A - \dot{Q}_{pc} - \dot{Q}_{util}$$

donde:

$$\frac{dE_c}{dt} = 0.$$

$I \cdot A$: La irradiación correspondiente a cada mes en nuestra localidad (Cáceres) multiplicada por el área total de colectores. Los datos de irradiación los hemos calculado anteriormente y se pueden observar en la tabla 3.10.

$\dot{Q}_{util} = \dot{m}_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{co} - T_{ci})$: Siendo Q_{util} el calor útil en los colectores.

\dot{Q}_{pc} : Calor correspondiente a las pérdidas. Este dato se obtiene a partir del **rendimiento del colector**, definido éste como la relación entre la energía aportada al fluido caloportador y la energía solar que incide sobre el captador:

$$\eta_c = \frac{\dot{Q}_{util}}{I \cdot A} = \frac{\dot{m}_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{co} - T_{ci})}{I \cdot A} = 1 - \frac{\dot{Q}_{pc}}{I \cdot A}$$

de donde se deduce:

$$\dot{Q}_{pc} = I \cdot A \cdot (1 - \eta_c)$$

El rendimiento de los colectores viene marcado por la curva de normalización o curva de rendimiento, y es específica para cada tipo de colector. Esta curva es proporcionada por el fabricante y tiene la siguiente expresión:

$$\eta_c = a_0 - a_1 \cdot \left(\frac{T_{ci} - T_0}{I} \right)$$

donde a_0 y a_1 son parámetros referidos a los factores de ganancia y pérdidas.

El modelo de colector que se vamos a emplear en este proyecto es el **Escosol SOL 2300 selectivo Titán**, con número de homologación: **GPS-8085**, y tiene unos valores de los factores de ganancia y pérdidas de:

$$a_0 = 0,775$$

$$a_1 = 3,67 \cdot \left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$$

Cuando abordemos el apartado correspondiente a los colectores solares veremos con más detalle lo que al rendimiento de los mismos se refiere.

Así nos quedará:

$$\dot{Q}_{pc} = I \cdot A \cdot \left(1 - a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{T_{ci} - T_0}{I} \right) \right)$$

Aplicando todas las condiciones anteriormente expuestas el balance de energía en el colector queda:

$$\dot{m}_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{co} - T_{ci}) = I \cdot A \cdot \left(a_0 - a_1 \cdot \frac{T_{ci} - T_0}{I} \right) \quad (1)$$

– **Balance de energía en el intercambiador de calor:**

En el intercambiador de calor se produce un proceso estacionario, por lo que:

$$\frac{dE_{ic}}{dt} = 0,$$

y haciendo el balance de energía en el intercambiador nos queda la siguiente expresión:

$$\dot{m}_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{co} - T_{ci}) = \dot{m}_2 C_{p2} (T_{ico} - T_{ici}) \quad (2)$$

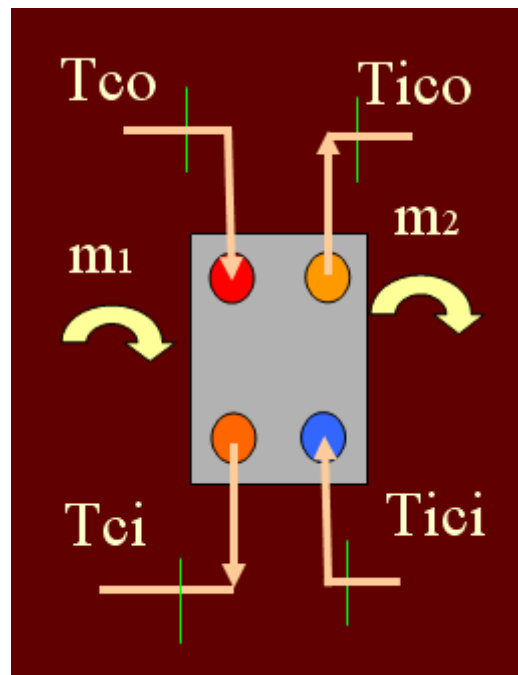


Figura 3.7. Balance de energía en el intercambiador de calor.

Cabe destacar que se trata de un intercambiador simétrico, por lo que los caudales másicos, \dot{m}_1 y \dot{m}_2 , son iguales:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

- Eficiencia en el intercambiador de calor:

La eficiencia energética de un intercambiador mide la transferencia energética del intercambiador frente a lo máximo que se podría intercambiar en condiciones ideales, por lo que es un valor adimensional, el cual estimaremos en 0,8 y tiene la expresión:

$$\varepsilon_{ic} = \frac{\dot{m}_2 \cdot C_{p2} \cdot (T_{ico} - T_{ici})}{C_{\min} \cdot (T_{co} - T_{ci})} \quad (3)$$

donde:

$$C_{\min} = \min(\dot{m}_1 \cdot C_{p1}, \dot{m}_2 \cdot C_{p2})$$

Este valor depende en gran medida de la configuración del intercambiador, de su tamaño y de los caudales máscicos \dot{m}_1 y \dot{m}_2 , de manera que cuando los caudales máscicos sean constantes podemos considerarlo también como constante.

En nuestro caso, como hemos indicado anteriormente, tenemos que $\dot{m}_1 = \dot{m}_2$, porque el intercambiador de calor es simétrico, por lo que será el calor específico, C_p , el que nos indique directamente cual será el C_{\min} que debemos tomar.

Así comparamos los calores específicos de los 2 fluidos y obtenemos que:

$$C_{p1} = 3,82 \left[\frac{KJ}{Kg \cdot K} \right] < 4,17 \left[\frac{KJ}{Kg \cdot K} \right] = C_{p2}$$

por lo que:

$$C_{\min} = \dot{m}_1 \cdot C_{p1}$$

– Balance de energía en el acumulador:

El acumulador tiene por cometido almacenar energía, de forma que su modo de funcionamiento es puramente no estacionario. Pero durante el dimensionado previo de nuestra instalación tomaremos valores anuales, y si consideramos que la energía almacenada no varía de un año para otro, podemos concluir que para valores medios anuales el proceso es estacionario.

$$\frac{dE_a}{dt} = 0,$$

y haciendo el balance de energía en el acumulador nos queda la siguiente expresión:

$$\dot{m}_2 \cdot C_{p2} \cdot (T_{ico} - T_{ici}) = \dot{m}_{cons} \cdot C_{pcons} \cdot (T_{cons} - T_{red}) \quad (4)$$

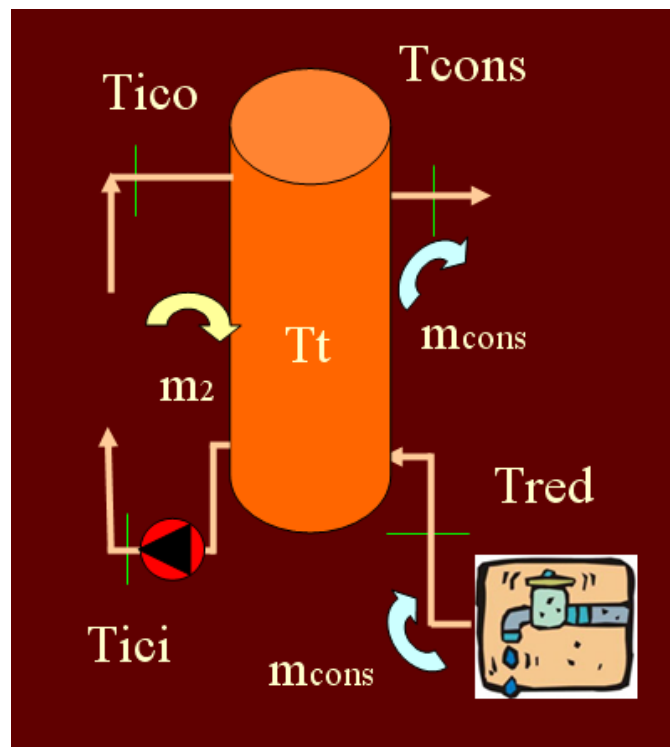


Figura 3.8. Balance de energía en el acumulador.

– **Contribución solar mínima anual (f):**

La contribución solar mínima anual es la fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada exigida y la demanda energética anual, obtenidos a partir de los valores mensuales.

Como no conocemos la contribución solar mínima de nuestra instalación todavía, lo que haremos será estimarla con un valor mínimo que establece el CTE, de modo que a partir de la Temperatura de suministro del agua, la cual nos indica $(T_{sum}) = 60^\circ C$, de la zona climática, de la demanda diaria de A.C.S. y de la fuente de energía auxiliar (caso general: de gasóleo, o efecto Joule: electricidad), podemos obtener el valor mínimo de la fracción solar “ f ”.

Así, cumpliendo con el CTE, estimaremos el valor mínimo de la contribución solar teniendo en cuenta que nos encontramos en la localidad de Cáceres, la cual se encuentra en la zona climática V, como hemos visto anteriormente en el Capítulo 1 y que nuestra demanda diaria de A.C.S. es de 528 l/día para $(T_{sum}) = 60^\circ C$, podemos obtener el valor mínimo de f , que será el que usaremos para nuestros cálculos, y este valor es:

$$f = 0,7$$

según la tabla siguiente extraída del CTE

| Demanda total de ACS del edificio (l/d) | Contribución solar mínima en %, Caso general | | | | |
|--|--|----|-----|----|----|
| | Zona climática | | | | |
| | I | II | III | IV | V |
| 50-5.000 | 30 | 30 | 50 | 60 | 70 |

| Demanda total de ACS del edificio (l/d) | Contribución solar mínima en %, Caso Efecto Joule | | | | |
|--|---|----|-----|----|----|
| | Zona climática | | | | |
| | I | II | III | IV | V |
| 50-1.000 | 50 | 60 | 70 | 70 | 70 |

Tabla 3.14. Contribuciones solares según zona climática (CTE).

Para más detalle se puede observar la tabla completa en el **ANEXO 3**.

$$f = \frac{\dot{m}_{cons} \cdot C_{pcons} \cdot (T_{cons} - T_{red})}{\dot{m}_{cons} \cdot C_{pcons} (T_{sum} - T_{red})} = \frac{(T_{cons} - T_{red})}{(T_{sum} - T_{red})} \quad (5)$$

The diagram illustrates a water heating system. A red rectangular box represents the water heater. An arrow labeled T_{cons} enters the heater from the left. An arrow labeled T_{sum} exits the heater and points towards a shower. Another arrow labeled T_{red} exits the heater and points towards a radiator. A blue arrow labeled m_{cons} exits the radiator and loops back to the heater, representing the return water flow.

Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos.
Universidad Carlos III de Madrid

– Grado de estratificación del Acumulador:

La estratificación de temperaturas es uno de los hechos más importantes a la hora del diseño de los acumuladores, para optimizar el comportamiento del mismo. Al extraer agua caliente del acumulador por la parte superior, se introduce agua fría por la parte inferior. Debido a la diferencia de densidades el agua situada en la parte superior, al tener menor densidad, está más caliente y el agua situada en la parte inferior está más fría. Para aumentar esta distribución vertical de temperaturas se recomienda emplear acumuladores verticales con una relación altura/diámetro elevada, es decir esbeltos. Con esta medida se consigue una elevada estratificación que es muy positiva, ya que permite:

- Que el agua extraída por la parte superior del acumulador salga a la mayor temperatura posible, lo que supone ahorro en energía de apoyo.
- Que el agua almacenada en la parte inferior del acumulador se encuentre a la menor temperatura disponible. De esta manera se consigue que la temperatura de entrada a los captadores sea baja y por tanto aumente el rendimiento de los mismos.

Suponiendo una sección cualquiera del acumulador:

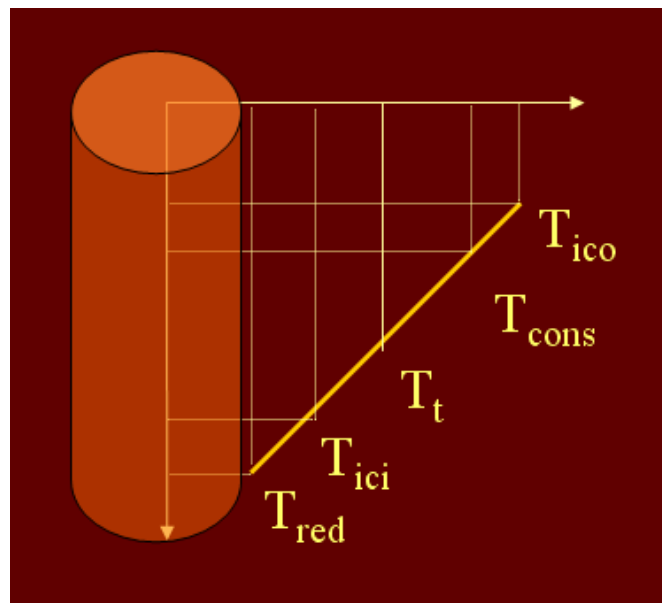


Figura 3.10. Estratificación del tanque.

Haciendo el balance de energía en el acumulador, sin pérdidas y en régimen estacionario obtenemos:

$$\dot{m}_2 \cdot C_p \cdot T_{ico} + \dot{m}_{cons} \cdot C_p \cdot T_{red} = (\dot{m}_2 + \dot{m}_{cons}) \cdot C_p \cdot T_t$$

despejando la ecuación anterior obtenemos:

$$T_t = \frac{T_{ico} \cdot \dot{m}_2 + T_{red} \cdot \dot{m}_{cons}}{\dot{m}_2 + \dot{m}_{cons}} \quad (6)$$

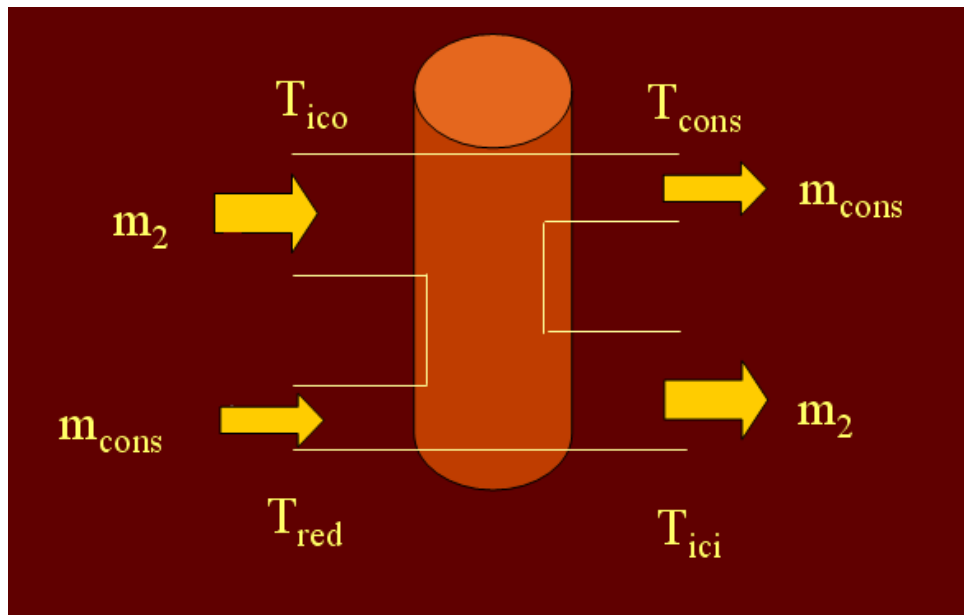


Figura 3.11. Balance de energía en el acumulador.

Aplicando ahora un caso con estratificación y sabiendo que:

$$0 \leq E_t \leq 1$$

y que T_{cons} ha de estar entre T_{ico} y T_t , dependiendo del grado de estratificación que exista en el tanque:

$$\begin{cases} E_t = 0 \rightarrow T_{cons} = T_t \\ E_t = 1 \rightarrow T_{cons} = T_{ico} \end{cases}$$

por tanto, deducimos la siguiente ecuación:

$$T_{cons} = T_t + (T_{ico} - T_t) \cdot E_t$$

y reordenando esta ecuación deducimos el grado de estratificación del tanque, el cual tiene la siguiente expresión:

$$E_t = \frac{T_{cons} - T_t}{T_{ico} - T_t} \quad (7)$$

Así, obtenemos la séptima ecuación que necesitábamos para poder resolver nuestro sistema de siete ecuaciones y siete incógnitas, de modo que definiendo los caudales máscicos de los diferentes circuitos del sistema, dejaremos definidos todos los datos necesarios para resolver el sistema de ecuaciones.

Los valores de los *caudales máscicos de los circuitos primario y secundario* por metro cuadrado los obtenemos de la siguiente manera:

- Circuito primario:

Para calcular el caudal máscico de este circuito, tendremos que tener en cuenta que el caudal utilizado en los ensayos realizados con el captador por Cener (Laboratorio de Captadores Solares) es de $70 \cdot \left(\frac{\text{litros}}{h \cdot m^2} \right)$, o lo que es lo mismo $0,02 \cdot \left(\frac{Kg}{s \cdot m^2} \right)$, como indica el **“Informe de Ensayo”** del Captador Solar Térmico **ESCOSOL SOL 2.300 SELECTIVO TITÁN** de Salvador Escoda S.A., que es el mismo que el caudal nominal recomendado por el fabricante.

Para más detalle se puede observar la Ficha Técnica del captador en el **ANEXO 4**.

A continuación calcularemos el caudal másico en (m/s) simplemente cambiando las unidades del caudal utilizado en los ensayos del captador y proporcionado por el fabricante. Por tanto obtenemos:

$$\dot{V}_1 = 70 \cdot \left(\frac{l}{h \cdot m^2} \right) \cdot \left(\frac{h}{3600s} \right) = 1,94 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{l}{s \cdot m^2} \right) = 1,94 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{m}{s} \right)$$

El dato que a nosotros nos interesa es un caudal másico $\left(\frac{Kg}{s \cdot m^2} \right)$, por lo que tendremos que multiplicar el caudal volumétrico calculado, por el valor de la densidad de nuestro fluido caloportador, el cual, como ya veremos más adelante en el capítulo correspondiente es agua glicolada de densidad $\rho = 1035 \cdot \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$:

$$\frac{\dot{m}_1}{m^2} = 1,94 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{m}{s} \right) \cdot 1035 \cdot \left(\frac{Kg}{m^3} \right) = 2 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{Kg}{s \cdot m^2} \right)$$

De este modo, cuando determinemos un valor de área colectora, podremos multiplicarlo por el valor de \dot{m}_1 y obtendremos el caudal másico de nuestra instalación en $\left(\frac{Kg}{s} \right)$.

- Circuito secundario:

Para obtener el caudal másico de este circuito, supondremos un caudal másico en el circuito secundario igual al del primario, que nos interesa también a la hora de diseñar el intercambiador de calor, porque un intercambiador simétrico es más sencillo de diseñar. Por tanto:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2,$$

y por tanto:

$$\left(\frac{\dot{m}_1}{m^2} \right) = \left(\frac{\dot{m}_2}{m^2} \right) = 2 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{Kg}{s \cdot m^2} \right)$$

Una vez definidos los caudales másicos ya tenemos perfectamente definido nuestro sistema de siete ecuaciones, nuestras siete incógnitas y todos los datos que intervienen en cada ecuación, de manera que, procederemos a resolver el sistema.

En una primera instancia realizaremos el **cálculo anual**, tomando como datos los valores promedio anuales de las variables que cambian según el mes.

Las variables promediadas y sus valores medios anuales se encuentran recogidas en la siguiente tabla:

| I(kw/m2) | T ^a _{red} (K) | T ^a ₀ (K) | Caudal másico consumo (kg/s) |
|----------|-----------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| 0,57 | 283,3 | 291,3 | 1,64·10 ⁻² |

Tabla 3.15. Datos promedio anuales.

Con estos valores medios anuales, conociendo el grado de estratificación del acumulador de ($E_f = 0,5$) y la eficiencia del intercambiador ($\epsilon_{ic} = 0,8$), realizamos el cálculo previo solucionado las **7 ecuaciones** con **7 incógnitas** como se muestra a continuación:

Lo primero que haremos será estimar un Área de captación inicial en función de la ocupación del edificio, como se indica a continuación:

$$A = 0,5 \cdot n^{\circ}_{personas} = 0,5 \cdot 24 = 12 \cdot (m^2)$$

Por tanto, ya podemos calcular los caudales máxicos de nuestra instalación simplemente multiplicando por el área estimada de colectores, obteniendo:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = (2 \cdot 10^{-2}) \cdot \left[\frac{Kg}{s \cdot m^2} \right] \cdot 12 \cdot [m^2] = 0,24 \cdot \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

Para realizar el cálculo de las incógnitas de nuestro sistema iremos resolviendo las 7 ecuaciones planteadas anteriormente, resolviéndolas directamente o mediante combinación de ecuaciones, como se expone a continuación:

- Para comenzar calcularemos el valor de la **Temperatura de Consumo** (T_{cons}), el cual se puede obtener directamente de la ecuación (4) de la siguiente forma:

$$f = \frac{(T_{cons} - T_{red})}{(T_{sum} - T_{red})} \quad (4)$$

$$0,7 = \frac{(T_{cons} - 283,3)}{(333 - 283,3)}$$

$$T_{cons} = 283,3 + 0,7 \cdot (333 - 283,3) = 318,09K$$

Por lo que la **Temperatura de Consumo** (T_{cons}) en °C es:

$$\boxed{T_{cons} = 45,09^{\circ}C}$$

- Para continuar con nuestra resolución, calcularemos la **Temperatura del tanque (T_t) y de la Temperatura a la salida del tanque (T_{ico})** a partir de la combinación de las ecuaciones (6) y (7), de la siguiente manera:

$$T_t = \frac{T_{ico} \cdot \dot{m}_2 + T_{red} \cdot \dot{m}_{cons}}{\dot{m}_2 + \dot{m}_{cons}} \quad (6)$$

$$E_t = \frac{T_{cons} - T_t}{T_{ico} - T_t} \quad (7)$$

Sustituyendo los valores conocidos y despejando T_{ico} en función de T_t en la ecuación (7), obtenemos:

$$T_{ico} = \frac{(T_{cons} - T_t \cdot (1 - E_t))}{E_t} = \frac{318,09 - 0,5 \cdot T_t}{0,5} = 636,18 - T_t$$

Sustituyendo los valores conocidos y despejando T_t en función de T_{ico} , en la ecuación (6), y sustituyendo T_{ico} por la ecuación calculada anteriormente, obtenemos:

$$T_t = \frac{(636,18 - T_t) \cdot 0,24 + 283,3 \cdot 1,64 \cdot 10^{-2}}{(0,24 + 1,64 \cdot 10^{-2})}$$

Por lo que obtenemos los siguientes valores:

$$T_t = 316,94 \cdot K = 43,94^\circ C$$

$$T_{ico} = 319,24 K = 46,24^\circ C$$

- A continuación pasamos a calcular **la Temperatura de entrada al tanque (T_{ici})** a partir de la ecuación (5) simplemente sustituyendo los valores conocidos y despejando, de forma que obtenemos:

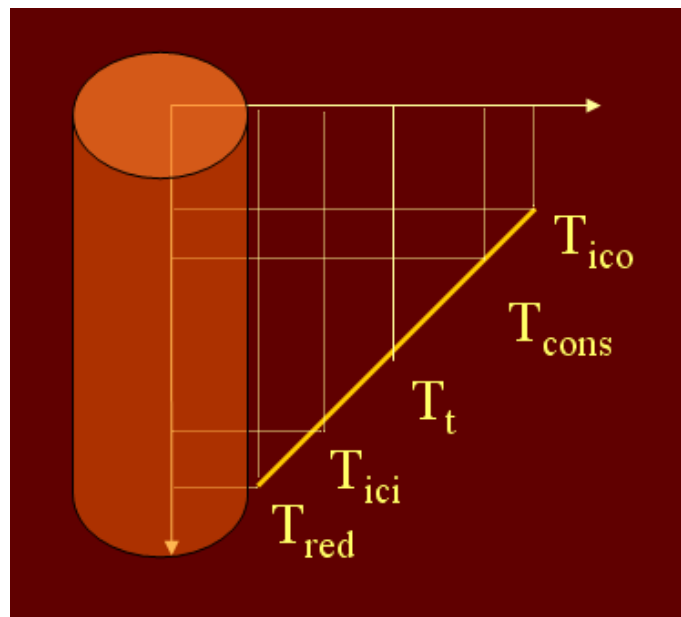
$$\dot{m}_2 \cdot C_{p2} \cdot (T_{ico} - T_{ici}) = \dot{m}_{cons} \cdot C_{pcons} \cdot (T_{cons} - T_{red}) \quad (5)$$

$$T_{ici} = T_{ico} - \frac{\dot{m}_{cons} \cdot C_{pcons} \cdot (T_{cons} - T_{red})}{\dot{m}_2 \cdot C_{p2}}$$

$$T_{ici} = 319,24 - \frac{1,64 \cdot 10^{-2} \cdot 4183 \cdot (318,09 - 283,3)}{0,24 \cdot 4183} = 316,86 \cdot K$$

$$T_{ici} = 316,86 K = 43,86^\circ C$$

- En este momento comprobaremos que las temperaturas obtenidas tienen coherencia viendo que cumplen la siguiente distribución, según el gráfico adjunto, de modo que:



Donde:

$$T_{ico} > T_{cons} > T_t > T_{ici} > T_{red}$$

Por lo que:

$$319,24 \cdot K > 318,09 \cdot K > 316,94 \cdot K > 316,86 \cdot K > 283,3 \cdot K$$

De modo que cumple con la distribución esperada, de modo que podemos pensar que los datos obtenidos son correctos y continuar con nuestros cálculos.

- Para continuar calcularemos **la Temperatura de salida del colector (T_{co})** a partir de la ecuación (3), simplemente sustituyendo los valores conocidos y resolviendo la ecuación, y obtenemos:

$$\varepsilon_{ic} = \frac{\dot{m}_2 \cdot C_{p2} \cdot (T_{ico} - T_{ici})}{C_{min} \cdot (T_{co} - T_{ici})} \quad (3)$$

siendo C_{min} el mínimo valor de $\dot{m}_1 \cdot C_{p1}$ y $\dot{m}_2 \cdot C_{p2}$.

Así comparamos los Calores Específicos de los 2 fluidos y obtenemos que:

$$C_{p1} = 3,82 \cdot \left[\frac{KJ}{Kg \cdot K} \right] < 4,17 \cdot \left[\frac{KJ}{Kg \cdot K} \right] = C_{p2}$$

por lo que:

$$C_{min} = \dot{m}_1 \cdot C_{p1}$$

de este modo, nos queda:

$$T_{co} = \frac{\dot{m}_2 \cdot C_{p2} \cdot (T_{ico} - T_{ici})}{C_{min} \cdot \varepsilon_{ic}} + T_{ici} = \frac{0,24 \cdot 4183 \cdot (319,24 - 316,86)}{0,24 \cdot 3820 \cdot 0,8} + 316,86$$

Por lo que:

$$T_{co} = 320,11 \cdot K = 47,11^\circ C$$

- Continuaremos calculando **la Temperatura de entrada al colector (T_{ci})** a partir de la ecuación (2), simplemente sustituyendo los valores conocidos y resolviendo la ecuación, y obtenemos:

$$\dot{m}_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{co} - T_{ci}) = \dot{m}_2 C_{p2} (T_{ico} - T_{ici}) \quad (2)$$

de modo que:

$$T_{ci} = T_{co} - \frac{\dot{m}_2 \cdot C_{p2} \cdot (T_{ico} - T_{ici})}{\dot{m}_1 \cdot C_{p1}}$$

$$T_{ci} = 320,11 - \frac{0,24 \cdot 4183 \cdot (319,24 - 316,86)}{0,24 \cdot 3820}$$

Por lo que:

$$T_{ci} = 317,51 \cdot K = 44,51^\circ C$$

- Para terminar con esta primera estimación calcularemos, a partir de la ecuación (1), el área de colectores mínima necesaria para cubrir con el mínimo de cobertura exigible para nuestra instalación. De este modo obtenemos:

$$\dot{m}_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{co} - T_{ci}) = I \cdot A \cdot \left(a_0 - a_1 \cdot \frac{T_{ci} - T_0}{I} \right) \quad (1)$$

sustituyendo y resolviendo tenemos que:

$$A = \frac{\dot{m}_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{co} - T_{ci})}{I \cdot \left(a_0 - a_1 \cdot \frac{(T_{ci} - T_0)}{I} \right)}$$

$$A = \frac{0,24 \cdot 3820 \cdot (320,11 - 317,51)}{570 \cdot \left(0,775 - 3,67 \cdot \frac{(317,51 - 291,3)}{570} \right)}$$

por lo que obtenemos un Área mínima de captación es:

$$A = 6,9 \cdot (m^2)$$

Como cada panel tiene un área de 2,16 m², calculamos la cantidad de colectores necesarios para cubrir esta necesidad, de modo que el número total de colectores necesario será:

$$N^{\circ}_{colectores} = \frac{A}{A_{colector}} = \frac{6,90}{2,16} = 3,194 \approx 4 \cdot (colectores)$$

De este modo obtenemos un valor provisional del área captadora inicial, el cual tomaremos para realizar una primera aproximación a la realidad del sistema. En nuestro caso, disponemos de paneles solares con un área de apertura de 2,16 m² por colector, **el número mínimo de captadores necesarios** para una primera aproximación **será 4**. Por tanto, **el área de captación total** será:

$$A = 2,16 \cdot 4 = 8,64 \cdot (m^2)$$

Una vez determinado este valor del área de captación total, utilizaremos este dato para el cálculo de las **fracciones solares correspondientes a cada mes**.

Para obtener la contribución solar de nuestro sistema realizaremos un cambio en nuestro sistema de ecuaciones, de forma que el Área de captación pasa a ser un dato conocido ($8,64 \text{ m}^2$) y nuestra variable “f”, fracción solar, la cual habíamos estimado según datos mínimos de cobertura solar para el cumplimiento de lo expuesto en e CTE, pasará a ser una incógnita de nuestro sistema. Realizaremos los cálculos, con el programa Mathcad, para cada uno de los 12 meses del año en función de los datos variables mensualmente de nuestro sistema. Así tenemos otra vez un sistema de 7 ecuaciones con 7 incógnitas, por lo que procedemos a calcular las distintas incógnitas, sustituyendo los datos mensuales de nuestros datos, en el sistema de ecuaciones planteado anteriormente. El cuál es:

$$\dot{m}_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{co} - T_{ci}) = I \cdot A \cdot \left(a_0 - a_1 \cdot \frac{T_{ci} - T_0}{I} \right) \quad (1)$$

$$\dot{m}_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{co} - T_{ci}) = \dot{m}_2 C_{p2} (T_{ico} - T_{ici}) \quad (2)$$

$$\varepsilon_{ic} = \frac{\dot{m}_2 \cdot C_{p2} \cdot (T_{ico} - T_{ici})}{C_{\min} \cdot (T_{co} - T_{ici})} \quad (3)$$

$$\dot{m}_2 \cdot C_{p2} \cdot (T_{ico} - T_{ici}) = \dot{m}_{cons} \cdot C_{pcons} \cdot (T_{cons} - T_{red}) \quad (4)$$

$$f = \frac{\dot{m}_{cons} \cdot C_{pcons} \cdot (T_{cons} - T_{red})}{\dot{m}_{cons} \cdot C_{pcons} (T_{sum} - T_{red})} = \frac{(T_{cons} - T_{red})}{(T_{sum} - T_{red})} \quad (5)$$

$$T_t = \frac{T_{ico} \cdot \dot{m}_2 + T_{red} \cdot \dot{m}_{cons}}{\dot{m}_2 + \dot{m}_{cons}} \quad (6)$$

$$E_t = \frac{T_{cons} - T_t}{T_{ico} - T_t} \quad (7)$$

Ahora simplemente introduciendo los datos conocidos podemos obtener las incógnitas de nuestro sistema. Para la resolución del sistema hemos utilizado los datos mensuales de la siguiente tabla:

| Mes | I (W/m ²) | ε _{ic} | m _{cons} (Kg/s) | T _{red} (K) | T _o (K) | T _{sum} (K) | a ₀ | a ₁ (W/m ² ·K) |
|------------|-----------------------|-----------------|--------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|----------------|--------------------------------------|
| Enero | 305,76 | 0,8 | 2,04·10 ⁻² | 279 | 283 | 333 | 0,775 | 3,67 |
| Febrero | 379,63 | 0,8 | 1,76·10 ⁻² | 280 | 284 | 333 | 0,775 | 3,67 |
| Marzo | 524,03 | 0,8 | 1,68·10 ⁻² | 282 | 287 | 333 | 0,775 | 3,67 |
| Abril | 616,08 | 0,8 | 1,68·10 ⁻² | 284 | 289 | 333 | 0,775 | 3,67 |
| Mayo | 659,12 | 0,8 | 1,61·10 ⁻² | 285 | 292 | 333 | 0,775 | 3,67 |
| Junio | 733,92 | 0,8 | 1,56·10 ⁻² | 286 | 298 | 333 | 0,775 | 3,67 |
| Julio | 838,07 | 0,8 | 1,39·10 ⁻² | 287 | 301 | 333 | 0,775 | 3,67 |
| Agosto | 805,82 | 0,8 | 1,19·10 ⁻² | 286 | 301 | 333 | 0,775 | 3,67 |
| Septiembre | 720,51 | 0,8 | 1,48·10 ⁻² | 285 | 298 | 333 | 0,775 | 3,67 |
| Octubre | 507,61 | 0,8 | 1,53·10 ⁻² | 284 | 292 | 333 | 0,775 | 3,67 |
| Noviembre | 423,37 | 0,8 | 1,87·10 ⁻² | 282 | 287 | 333 | 0,775 | 3,67 |
| Diciembre | 331,22 | 0,8 | 2,10·10 ⁻² | 279 | 283 | 333 | 0,775 | 3,67 |

Tabla 3.16. Datos iniciales de cálculo.

Como ha variado el área de los colectores también varían los caudales máscicos:

$$\dot{m}_1 = 1035 \cdot \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot 8.64 \cdot (\text{m}^2) \cdot 1,94 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) = 0,173 \cdot \left(\frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right)$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_1$$

Con:

$$C_{p1} = 3820 \cdot \left(\frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} \right) \text{ y } \rho_1 = 1035 \cdot \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right).$$

$$C_{p2} = C_{pcons} = 4183 \cdot \left(\frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} \right) \text{ y } \rho_2 = \rho_{cons} = 1000 \cdot \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right).$$



Así obtenemos los valores de las distintas temperaturas buscadas y de la fracción solar obtenida para cada mes, los cuales se pueden observar en las siguientes tablas:

| Mes | T_{ci} (K) | T_{co} (K) | T_{ici} (K) | T_{ico} (K) | T_{cons} (K) | T_t (K) |
|------------|--------------|--------------|---------------|---------------|----------------|-----------|
| Enero | 297,167 | 299,588 | 296,561 | 298,772 | 297,728 | 296,685 |
| Febrero | 304,883 | 307,730 | 304,171 | 306,771 | 305,534 | 304,297 |
| Marzo | 317,356 | 321,213 | 316,391 | 319,914 | 318,235 | 316,555 |
| Abril | 325,298 | 329,804 | 324,171 | 328,286 | 326,324 | 324,362 |
| Mayo | 331,054 | 335,864 | 329,852 | 334,244 | 332,146 | 330,047 |
| Junio | 339,778 | 345,216 | 338,419 | 343,385 | 341,009 | 338,633 |
| Julio | 353,528 | 359,506 | 352,033 | 357,493 | 354,868 | 352,244 |
| Agosto | 357,313 | 362,782 | 355,945 | 360,940 | 358,526 | 356,112 |
| Septiembre | 340,150 | 345,434 | 338,829 | 343,655 | 341,341 | 339,028 |
| Octubre | 321,601 | 325,328 | 320,669 | 324,073 | 322,443 | 320,813 |
| Noviembre | 308,698 | 311,950 | 307,885 | 310,855 | 309,446 | 308,037 |
| Diciembre | 298,162 | 300,794 | 297,504 | 299,908 | 298,775 | 297,642 |

Tabla 3.17.a. Temperaturas calculadas con el programa Mathcad en K.

| Mes | T_{ci} (°C) | T_{co} (°C) | T_{ici} (°C) | T_{ico} (°C) | T_{cons} (°C) | T_t (°C) |
|------------|---------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|------------|
| Enero | 24,167 | 26,588 | 23,561 | 25,772 | 24,728 | 23,685 |
| Febrero | 31,883 | 34,73 | 31,171 | 33,771 | 32,534 | 31,297 |
| Marzo | 44,356 | 48,213 | 43,391 | 46,914 | 45,235 | 43,555 |
| Abril | 52,298 | 56,804 | 51,171 | 55,286 | 53,324 | 51,362 |
| Mayo | 58,054 | 62,864 | 56,852 | 61,244 | 59,146 | 57,047 |
| Junio | 66,778 | 72,216 | 65,419 | 70,385 | 68,009 | 65,633 |
| Julio | 80,528 | 86,506 | 79,033 | 84,493 | 81,868 | 79,244 |
| Agosto | 84,313 | 89,782 | 82,945 | 87,94 | 85,526 | 83,112 |
| Septiembre | 67,15 | 72,434 | 65,829 | 70,655 | 68,341 | 66,028 |
| Octubre | 48,601 | 52,328 | 47,669 | 51,073 | 49,443 | 47,813 |
| Noviembre | 35,698 | 38,95 | 34,885 | 37,855 | 36,446 | 35,037 |
| Diciembre | 25,162 | 27,794 | 24,504 | 26,908 | 25,775 | 24,642 |

Tabla 3.17.b. Temperaturas calculadas con el programa Mathcad en °C.

| Mes | f |
|------------|-------|
| Enero | 0,347 |
| Febrero | 0,482 |
| Marzo | 0,710 |
| Abril | 0,864 |
| Mayo | 0,982 |
| Junio | 1,170 |
| Julio | 1,475 |
| Agosto | 1,543 |
| Septiembre | 1,174 |
| Octubre | 0,785 |
| Noviembre | 0,538 |
| Diciembre | 0,366 |
| Anual | 0,870 |

Tabla 3.18. Fracción Solar previa.

3.4.3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES DEL CÁLCULO PREVIO.

El Código Técnico de la Edificación indica: “el dimensionado de la instalación estará limitado por el cumplimiento de la condición de que en ningún mes del año la energía producida por la instalación podrá superar el 110 % de la demanda energética y en no más de tres meses el 100% y a estos efectos no se tomarán en consideración aquellos periodos de tiempo en los cuales la demanda energética se sitúe un 50 % por debajo de la media correspondiente al resto del año, tomándose medidas de protección”.

A continuación se puede observar gráficamente como el grado de cobertura solar en la producción de A.C.S., de esta primera aproximación, es muy superior en los meses de verano que en los de invierno, llegando a cubrir el 100% de la demanda del periodo estival y teniendo el máximo de cobertura en el mes de Agosto. Además observamos que, en los meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre la contribución solar mínima supera el 100%, como se puede ver en la siguiente figura, y teniendo en cuenta que el CTE indica que la energía producida por la instalación en no más de tres meses podrá superar el 100%, no cumpliríamos con el CTE en este sentido.

Además, debido a las condiciones de radiación mensuales que tiene Cáceres, resulta imposible llegar a cubrir el 70% de la demanda energética anual sin obviar la restricción de demanda energética máxima del 110% que exige el CTE, ya que en los meses de invierno no captaremos casi energía solar y sin embargo en los meses estivales tenemos un elevado exceso de energía captada. Todo esto también es provocado por las temperaturas extremas que sufre Cáceres, ya que en los meses de invierno las temperaturas son muy bajas y hacen que se demande más energía, y en verano ocurre lo contrario con las altas temperaturas.

Por todo esto, y tras corroborar nuestras suposiciones, realizando el predimensionado de la instalación con varios captadores con características muy diversas, como veremos más adelante en el **Capítulo 4**, llegamos a un punto en que tenemos que decidir si queremos cubrir como mínimo el 70% de la demanda, que nos exige el CTE, o por el contrario decidimos cumplir la condición de que en ningún mes se sobrepase el 110% y en no más de tres meses el 100% de la demanda energética.

Si decidiéramos cumplir la condición de no sobrepasar el 110% de la demanda energética anual, la cobertura anual que obtendríamos estaría muy por debajo de las exigencias del CTE, por lo que no tendría sentido el dimensionado de la instalación. Por esto, decidimos continuar nuestro dimensionado tomando la opción de cubrir el 70% de la demanda energética anual, a pesar de que en los meses del periodo estival tendremos que disipar el exceso de energía producido, dotando por la instalación de aerotermos y obviando la restricción del CTE, de forma que se procurará buscar una solución adecuada al problema planteado entre la fracción solar mínima del 70% y el cumplimiento de que en no más de tres meses consecutivos se puede superar el 100% de la demanda.

Además en los meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre la contribución solar mínima supera el 100% por lo que disiparemos el calor sobrante con los aerotermos, que nos permitan extraer el exceso de energía térmica acumulada en la instalación para evitar así sobrecalentamientos.

De este modo, si tenemos en cuenta la extracción de energía que van a realizar los aerotermos disipando el exceso de calor, obtenemos los siguientes valores de la contribución solar, representados en la figura 3.12.:

| Mes | f |
|------------|-------|
| Enero | 0,347 |
| Febrero | 0,482 |
| Marzo | 0,710 |
| Abril | 0,864 |
| Mayo | 0,982 |
| Junio | 1,000 |
| Julio | 1,000 |
| Agosto | 1,000 |
| Septiembre | 1,000 |
| Octubre | 0,785 |
| Noviembre | 0,538 |
| Diciembre | 0,366 |
| Anual | 0,756 |

Tabla 3.19. Fracción Solar Corregida.

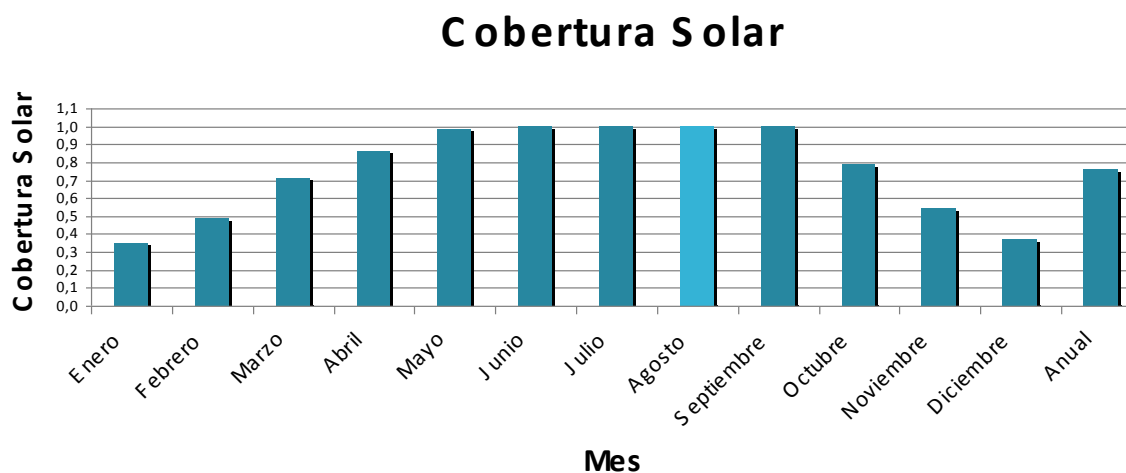


Figura 3.12. Cobertura solar sin pérdidas.

3.5. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE ACUMULACIÓN DE A.C.S.

El volumen de acumulación de A.C.S. es un dato muy característico y decisivo a la hora de realizar el dimensionado del acumulador (almacenador energético) en el diseño de un sistema solar. La misión que buscamos que cumpla esta acumulación de energía calorífica es únicamente conseguir que el agua acumulada tenga energía calorífica suficiente para satisfacer las necesidades del sistema para el que está diseñado durante breves períodos de ausencia o escasez de radiación solar, siendo casi siempre menores a un día. Una vez pasado dicho período, habría que hacer uso de otra energía de apoyo o sustitutoria de la energía solar, si se deseara seguir disfrutando de agua caliente.

Los estudios teóricos y experimentales que se han realizado, corroborados ampliamente con la experiencia, muestran que el volumen óptimo de acumulación está en torno a los 70 litros por cada metro cuadrado de colector. Valores mayores no conducen a porcentajes significativamente superiores en cuanto al aprovechamiento de la energía solar incidente y, por el contrario, el coste del acumulador aumenta, según el Centro de Estudios de la Energía Solar (Censolar).

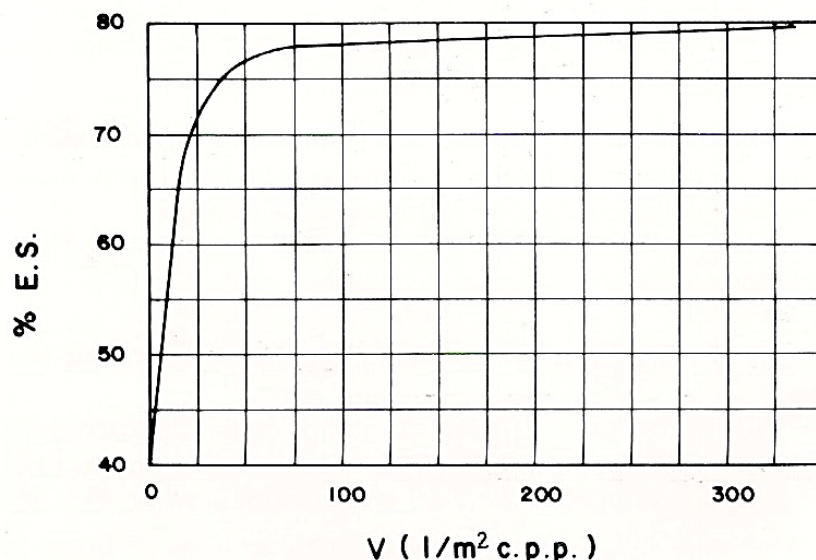


Figura 3.13. Porcentaje de energía solar incidente aprovechada en función del volumen de acumulación.

Por todo lo indicado anteriormente se ha estimado un volumen de acumulación por metro cuadrado de área instalada de colectores lo más aproximado a los 70 litros. Como nuestra superficie de captación es de 8,64 (m²), tomaremos un volumen de acumulación de 60 litros, ya que con los 70 litros no cumpliríamos con el R.I.T.E. como veremos a continuación. Por tanto, el volumen total de acumulación será de 518,4 litros, por lo que tomaremos un acumulador de 500 litros.

Para realizar el cálculo del volumen de acumulación hemos tenido en cuenta los requisitos que exigen el Plan Solar de Extremadura y el Código Técnico de la Edificación en el apartado 3.3.3, Sistema de acumulación solar, de la Sección HE4.

El CTE, en este apartado, establece que el sistema solar no se debe concebir en función de la potencia del generador (captadores solares), sino en función de la energía que aporta a lo largo del día, por tanto se debe prever una acumulación acorde con la demanda al no ser ésta simultánea con la generación.

Por tanto para nuestra instalación con consumo constante a lo largo del año, el volumen del depósito y el área de captación total (A) tengan valores que cumplan la siguiente condición:

$$50 \leq V/A \leq 180$$

donde: **A**: suma de las áreas de los captadores, en (m²).

V: volumen del depósito acumulador, expresado en (litros).

siendo nuestra área de captación de 8,64 (m²) y el volumen del depósito acumulador de 500 litros tenemos:

$$50 \leq 57,87 \leq 180$$

Con lo que comprobamos que la estimación realizada cumple con esta exigencia del Plan Solar de Extremadura y del Código Técnico de la Edificación.

Además también hemos tenido en cuenta los requisitos que exigen el Plan Solar de Extremadura y el apartado ITE 10.1.3.2 del RITE, donde se establece la siguiente condición:

$$0,8 \cdot M < V < M$$

donde: **M**: consumo medio diario de los meses de verano, expresado en (litros/día);

V: volumen del depósito acumulador, expresado en (litros).

siendo el consumo diario en los meses de verano de 528 (litros/día) y el volumen del depósito acumulador de 500 (litros) tenemos:

$$422,4 < 500 < 528$$

Con lo que comprobamos que la estimación realizada cumple con esta exigencia del Plan Solar de Extremadura y de la ITE 10.1.3.2 del RITE.



4. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN.

4. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN

A continuación pasamos a describir los distintos subsistemas que componen la instalación, así como los elementos que componen cada uno de los subsistemas.

Como ya indicamos anteriormente la instalación solar se divide en dos subsistemas o circuitos: el **circuito primario** y el **circuito secundario**.

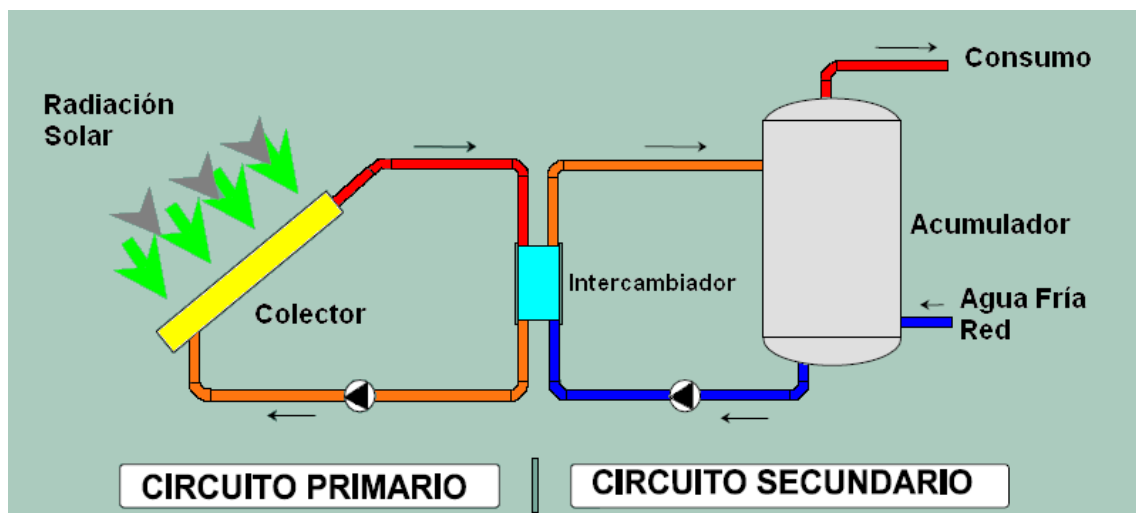


Figura 4.1. Sistema de ACS.

El **circuito primario** tiene como principal función la captación de la radiación solar mediante los paneles solares, para transformarla en energía calorífica y transferirla al fluido térmico que circula por los paneles solares y por todo el circuito primario y así lograr almacenar en un depósito de acumulación la energía calorífica captada en los paneles solares para su posterior aprovechamiento.

El **circuito primario** puede ser abierto o cerrado. En nuestro caso tomamos un sistema cerrado, ya que es mucho más eficiente y obtiene un mayor rendimiento de los captadores, además así separamos los fluidos de los dos subsistemas de la instalación, permitiéndonos tratar el fluido caloportador del primario para evitar congelaciones y deterioros en la instalación.

Los **sistemas abiertos** aprovechan la estratificación del depósito de acumulación que hace que el agua caliente, de menor densidad que la fría, se coloque en la parte superior del depósito y cuanto más caliente esté más arriba se encontrará en el depósito. Por lo tanto, el agua fría de red siempre se suministra por la parte inferior del depósito y la toma de agua para el sistema auxiliar de calentamiento se debe situar en la parte más caliente del depósito que es la superior, para favorecer la estratificación. La ventaja de los sistemas abiertos es la reducción de las pérdidas por haber un solo depósito, y la desventaja es que disminuye el rendimiento de los colectores al aumentar la temperatura de entrada de los mismos. Por esa razón utilizaremos un sistema cerrado.

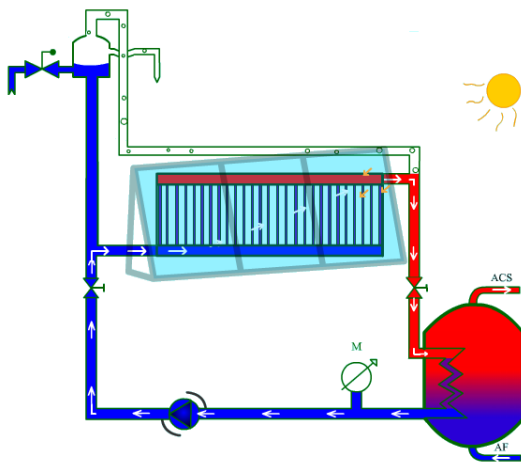


Figura 4.2. Sistema abierto.

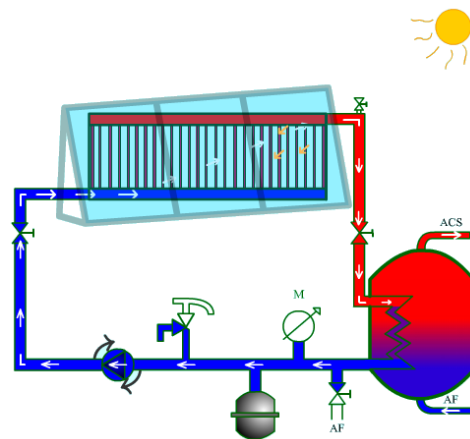


Figura 4.3. Sistema cerrado.

4.1. CIRCUITO PRIMARIO.

El circuito primario está compuesto básicamente por: tuberías, bomba y vaso de expansión. Además cumpliendo con la normativa debe disponer de válvulas de corte, elementos de medida y control, y purgadores que permitan eliminar el aire que se introduce en la instalación disminuyendo su rendimiento y provocando posibles averías en la misma.

4.1.1. COLECTORES SOLARES

4.1.1.1. GENERALIDADES

Los colectores solares, también llamados captadores, son los componentes principales de la instalación, ya que es en ellos donde se produce la transformación de la energía procedente del sol en energía calorífica aprovechable que se transfiere a un fluido térmico. Por ello la correcta elección de estos elementos es muy importante ya que influirá directamente en el aprovechamiento de la energía solar disponible.

Los colectores que se van a emplear son los conocidos como Colectores de Placa Plana (c.p.p) ya que el uso para el que están destinados es la producción de A.C.S. a bajas temperaturas (menos de 80°C). Otro factor importante para la elección de este tipo de colectores frente a los de concentración es que son más baratos.

Como se puede observar en la figura este tipo de colectores aprovecha tanto la radiación solar directa como la difusa. Esta radiación al llegar al colector se fraccionará en dos componentes:

- Una **potencia útil** que es la que se transfiere al fluido caloportador.
- Unas **pérdidas por conducción, convección y radiación** debidas al calor que se almacena en el colector a mayor temperatura que el ambiente.



Figura 4.4. Tipos de Radiación sobre el Sistema de Captación.

Los colectores planos se componen principalmente de:

- Un absorbedor, para absorber la máxima radiación solar y emitir la mínima.
- Una cubierta transparente para disminuir las pérdidas de calor por convección producidas por el aire exterior y de calor emitido por el absorbedor.
- Un serpentín por donde circula el fluido caloportador.
- Un aislante térmico.
- Una caja para contener todos los elementos anteriores y garantizar estanqueidad.

Estos elementos han sido descritos en detalle en el **Capítulo 2** de este proyecto.

4.1.1.2. RENDIMIENTO DEL COLECTOR

El rendimiento de un colector es la relación entre la energía aportada al fluido caloportador y la energía solar incidente sobre el captador.

$$\eta_c = \frac{\dot{Q}_{util}}{I \cdot A}$$

La ecuación del rendimiento de un colector es un dato suministrado siempre por el fabricante del captador solar:

$$\eta_c = \eta_0 - a_1 \cdot x = F_R \cdot (\tau \cdot \alpha) - U_L \cdot \frac{T_m - T_0}{I}$$

- **Rendimiento óptico** (Factor de ganancias):

$$\eta_0 = F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)$$

Donde:

τ : Transmitancia de la cubierta transparente.

α : Absortancia de la placa absorbente.

F_R : Factor de eficiencia o coeficiente de transporte de calor. Es un factor correctivo que permite utilizar la ecuación del rendimiento en función de la temperatura media del fluido en lugar de la temperatura de la placa absorbedora, más difícil de calcular. El rendimiento óptico tiene en cuenta las pérdidas generadas por la parte de radiación solar que incide sobre los colectores y que se pierde por la reflexión y la absorción.

- **Factor de pérdidas:**

$$a_1 = U_L (W/m^2 \cdot ^\circ C)$$

Tiene en cuenta las pérdidas generadas por el calentamiento de los colectores que desprenderán calor a los alrededores a través de conducción térmica, radiación térmica y convección.

El resto de variables que intervienen en la curva característica del rendimiento son:

T_m : Temperatura media del fluido ($^\circ C$).

T_0 : Temperatura del ambiente ($^\circ C$).

I : Irradiación sobre superficie inclinada (W/m^2)

4.1.1.3. DESCRIPCIÓN DE LOS COLECTORES ELEGIDOS PARA EL PROYECTO

El colector solar elegido para nuestra instalación es el modelo **Escosol SOL 2300 Selectivo Titán**. Hemos escogido este por tener una buena relación entre rendimiento del colector, la calidad y precio.

El colector está fabricado siguiendo las normas de calidad y certificación necesarias para conseguir un captador de alta fiabilidad y acabados. El número de homologación del captador modelo **Escosol SOL 2300 Selectivo Titán** es **GPS-8085**.



Figura 4.5. Captador plano *Escosol SOL 2300 selectivo Titán*.

El captador ***Escosol SOL 2300 Selectivo Titán*** está fabricado con un absorbedor que se compone de una placa de cobre con tratamiento selectivo, a la que se unen tubos de cobre con tecnología láser. La carcasa en aluminio y el aislamiento térmico interior permiten minimizar al máximo las pérdidas del colector, lo que queda reflejado en las excelentes curvas de rendimiento, y aseguran una perfecta estanqueidad. El acristalamiento, lámina de vidrio templado con bajo contenido de hierro, deja pasar más energía que el vidrio habitualmente utilizado para ventanas. Incorporan sendos orificios para alojar la sonda de temperatura.

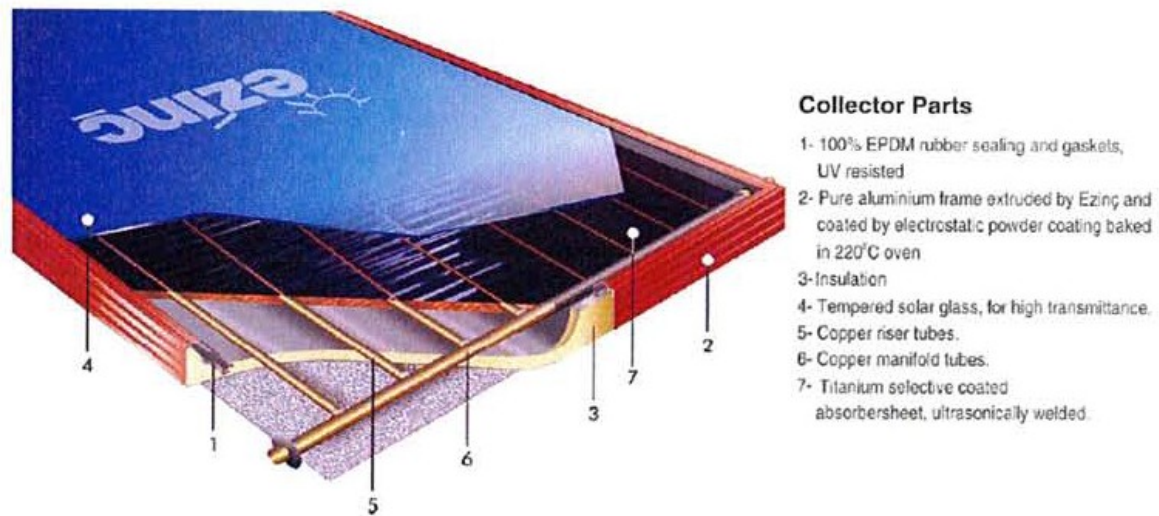


Figura 4.6. Sección del colector.

Su carcasa, de aluminio extruido de 2 (mm) de espesor, está aislada mediante una capa de Lana de vidrio de 25 (mm) más otra capa de Poliuretano de 25 (mm) en la parte dorsal y una capa de Poliuretano de 25 (mm) en la parte lateral. Su cubierta transparente, de vidrio templado de 4 (mm) de espesor bajo en hierro que deja pasar más energía que el vidrio habitualmente utilizado para ventanas, una junta EPDM y silicona, junto con el absorbedor, componen el conjunto.

Para más detalles acerca del Captador, tales como sus características técnicas, sus medidas y su curva de rendimiento, ver el **Informe de Ensayo de Rendimiento del Captador Solar** o la **Ficha Técnica** en el **ANEXO 4**.

4.1.1.4. UBICACIÓN Y DISPOSICIÓN DE LOS COLECTORES SOLARES

La ubicación de los colectores será en la cubierta del edificio de forma que la captación de la radiación solar sea la máxima posible, de este modo orientaremos los captadores hacia el Sur geográfico. La inclinación respecto a la horizontal de estos será la propia del tejado, donde se van a situar, y esta es de 25° .

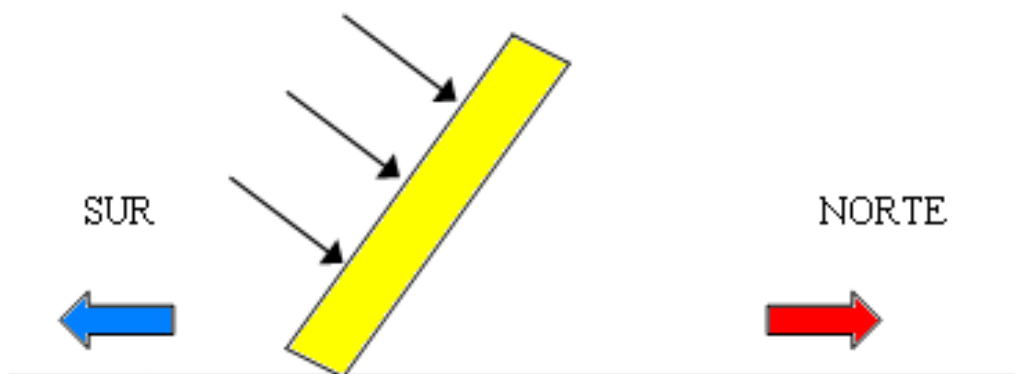


Figura 4.7. Inclinación captadores solares

Para observar con más detalle la ubicación exacta de los captadores, se puede ver el plano del **ANEXO 1**.

Los colectores solares serán agrupados en una batería, por simplificación de la instalación y abaratamiento.

Para acoplar los colectores podemos hacerlo de dos formas: en **serie** o en **paralelo**.

La diferencia principal entre estos dos tipos de conexionado será la temperatura y el caudal. La temperatura de salida de la batería será mayor en serie que en paralelo y el caudal será mayor en paralelo.

- **En paralelo:** Por cada panel debe circular el caudal de diseño establecido por el fabricante para obtener el máximo rendimiento. Así, el acoplamiento en paralelo implicará que el caudal trasegado por toda la batería debe ser igual al número de colectores por el caudal unitario de diseño de cada colector. De este modo se consigue que todos los colectores trabajen proporcionando el mismo salto térmico, que será idéntico al de la batería al completo.

La conexión en paralelo implica que circule el mismo caudal por cada colector, pero existe un problema ya que se van produciendo mayores pérdidas de carga según avanza el fluido por los colectores de la batería, por lo que el caudal será menor en los últimos colectores que en los primeros, pudiendo producirse un desequilibrio notorio.

Existen dos maneras de conectar los captadores de una batería: en paralelo exterior y en paralelo interior, como se puede ver en las siguientes figuras:

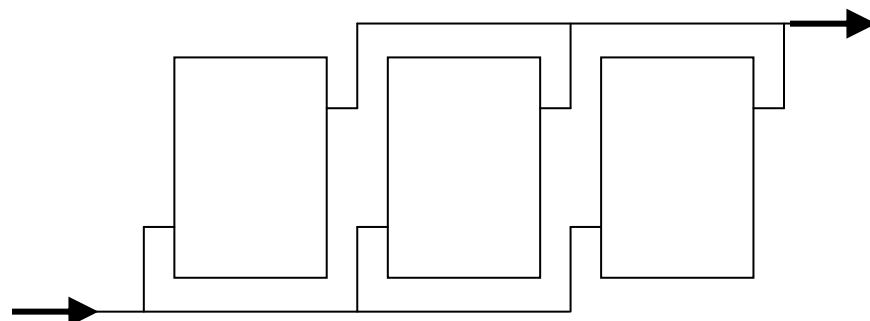


Figura 4.8.a. Disposición en paralelo exterior.

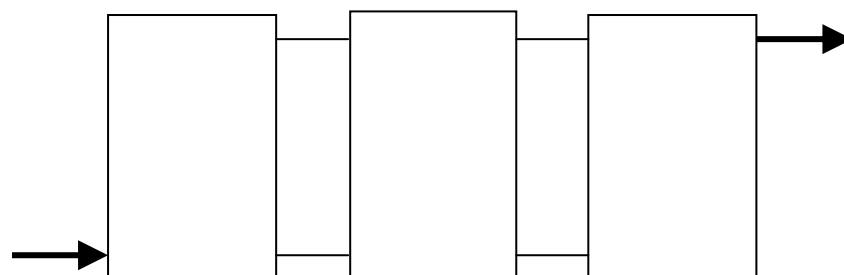


Figura 4.8.b. Disposición en paralelo interior.

- **En serie:** el caudal de toda la batería será igual al de diseño de un único colector, es decir, por todos ellos circula el mismo caudal. De este modo se obtiene una temperatura de salida de la batería, en teoría, igual al número de colectores que conforman la batería por el salto térmico de un colector.

El principal problema de este tipo de conexionado es que la temperatura de trabajo aumenta al ir avanzando por los colectores, por el aumento de la temperatura del fluido de trabajo, lo que implica que la temperatura de entrada al colector va aumentando de colector en colector según el fluido avanza. Esto provoca un descenso progresivo del rendimiento de cada colector por el aumento de temperatura de entrada del fluido, descendiendo el salto térmico en el mismo.

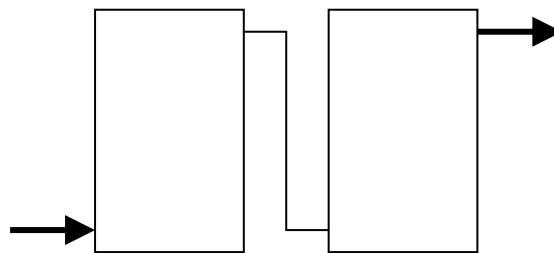


Figura 4.9. Disposición en serie.

Como ya hemos comentado anteriormente, la temperatura de salida de la batería será mayor en serie que en paralelo y el caudal será mayor en paralelo.

Basándonos en lo anteriormente citado, la instalación presentará una batería de cuatro captadores solares acoplados en paralelo e interconectados por uniones comunes de tipo **Conex de 22 mm** como indica el Fabricante **SALVADOR ESCODA**.

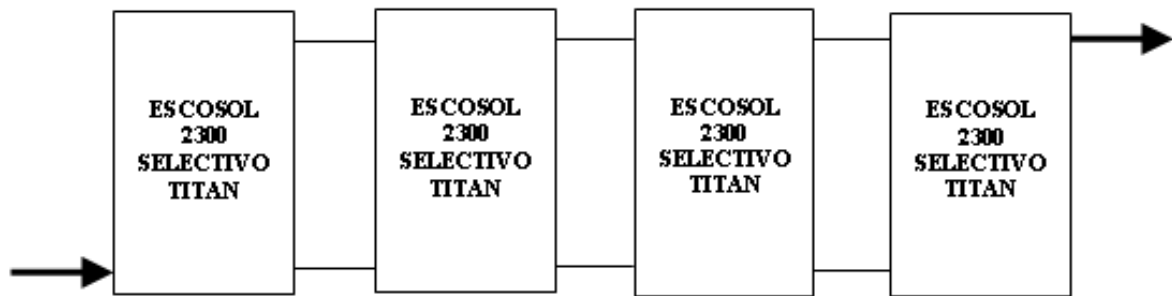


Figura 4.10. Batería de 4 captadores ESCOSOL en paralelo interior.



a) Conex Recto 22 H.



b) Conex Corrugado 22 H.

Figura 4.11. Conexiones tipo Conex de 22 mm.

Cabe destacar que al trabajar con una batería de colectores conectados en paralelo todos los captadores tendrán la misma orientación, encontrándose uno al lado del otro, evitando así la presencia de sombras sin necesidad de calcular la distancia entre las baterías.

4.1.2. FLUIDO DE TRABAJO O CALOPORTADOR.

El fluido de trabajo o caloportador del circuito primario es aquel que pasa a través del absorbedor y transfiere a otra parte del sistema la energía térmica absorbida.

Para el circuito primario se pueden utilizar diferentes tipos de fluidos:

- Agua (de la red, desmineralizada o con aditivos).
- Agua + anticongelante.
- Líquidos orgánicos sintéticos.
- Aceites de silicona.

En nuestra instalación emplearemos agua con anticongelante (propilenglicol) debido a la instalación estará situada a la intemperie y expuesta a bajas temperaturas por debajo de 0°C, por lo que estamos obligados a proteger la instalación contra congelación y formación de cristales de hielo.

Para la realización de nuestros cálculos, las características más significativas a tener en cuenta de estas mezclas son las siguientes:

- **Toxicidad:** asegurar la imposibilidad de mezcla entre la mezcla anticongelante y el agua de consumo. Para la separación completa entre el circuito primario y secundario se empleará un intercambiador.

- **Viscosidad:** La viscosidad del anticongelante es superior a la del agua. Por tanto, debemos tenerlo en cuenta a la hora de calcular las pérdidas de carga y de potencia de la bomba, ya que la mezcla de anticongelante con agua también posee mayor viscosidad que el agua.

- **Dilatación:** El coeficiente de dilatación del anticongelante es superior a la del agua. Por tanto, debemos tenerlo en cuenta cuando vayamos a calcular el vaso de expansión, aplicando un coeficiente corrector de 1.1.



- **Estabilidad:** Los anticongelantes se degradan a temperaturas superiores a 120°C , dejando residuos sólidos que afectan negativamente al funcionamiento de la instalación ya que disminuyen la transferencia de calor y aceleran la corrosión.

- **Calor específico:** El calor específico del anticongelante es inferior al calor específico del agua. Por tanto, debemos tenerlo en cuenta cuando vayamos a calcular el caudal, el dimensionado de la bomba y el dimensionado de las tuberías.

Según indica el CTE, el calor específico de esa mezcla será mayor a $3 \text{ (kJ/kg}\cdot\text{K)}$ para una temperatura de 5°C inferior a la mínima histórica del lugar para no producir daños en el circuito primario de captadores por heladas.

- **Temperatura de ebullición:** La temperatura de ebullición es superior a la temperatura de ebullición del agua. Este efecto es favorable ya que nos proporcionará un mayor margen para que no se provoque la ebullición del agua en el interior del colector.

Para calcular el porcentaje de anticongelante que debe tener el fluido térmico que llevará el circuito primario, es necesario conocer la temperatura mínima histórica de la localidad donde se va a ubicar la instalación. En nuestro caso específico se tomará la mínima histórica de Cáceres, que es de -6°C (dato proporcionado por el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura), por lo que para cumplir con el CTE debemos calcularlo para una temperatura de -11°C .

Tras obtener este dato debemos consultar la curva de congelación de mezclas de agua con propilenglicol o con etilenglicol en función de la concentración en peso de anticongelante, la cual se puede ver a continuación.

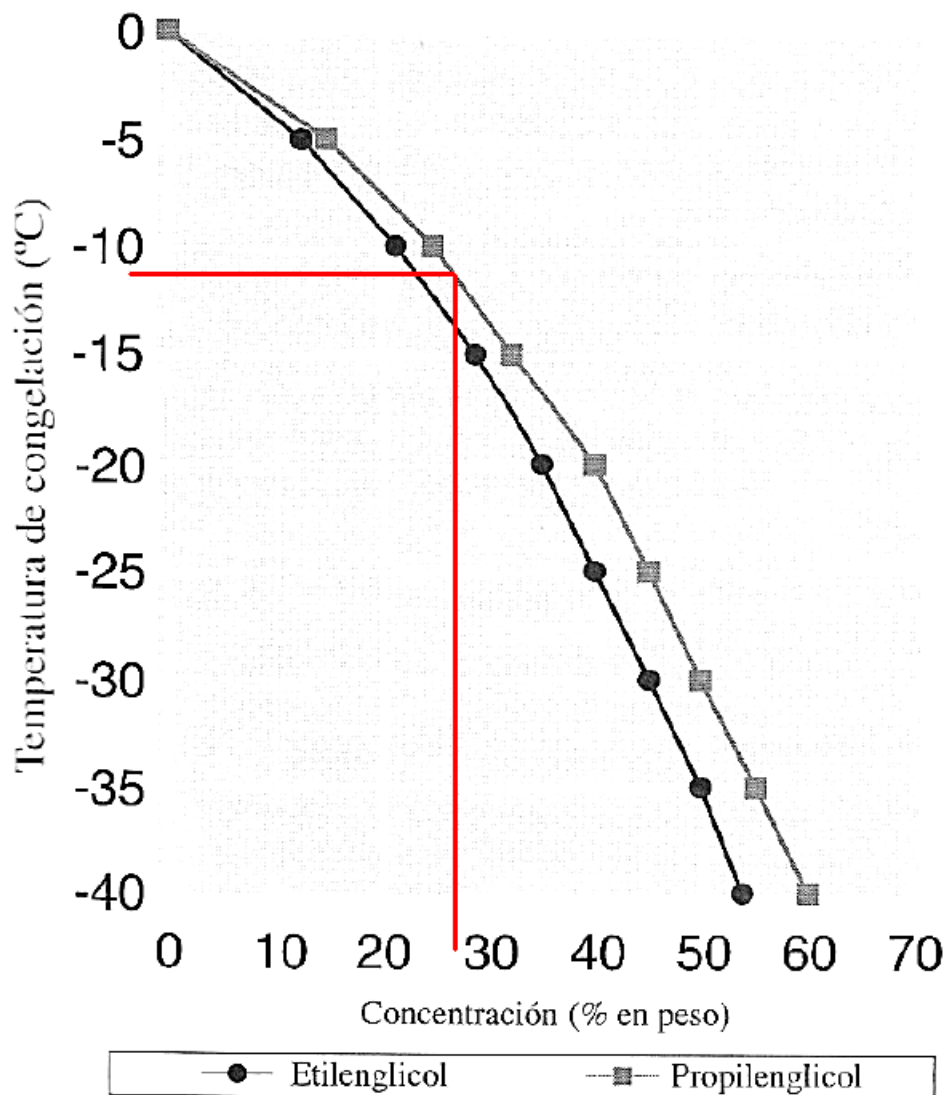


Figura 4.12. Curvas de congelación de mezclas de agua con propilenglicol o con etilenglicol en función de la concentración en peso de anticongelante.

De manera que consultando la gráfica obtenemos la concentración apropiada para nuestra instalación, que en nuestro caso es en torno a un 30% en volumen de propilenglicol.

Tras calcular el porcentaje de propilenglicol adecuado a nuestra instalación en función de la temperatura histórica de la localidad, podemos pasar a consultar las gráficas que nos proporcionan la **densidad** y el **calor específico** de la mezcla en función de la concentración del fluido caloportador. Las gráficas oportunas se muestran a continuación y nos proporcionan una **densidad** de **1.035 (kg/m³)** y un **calor específico** de **3,82 (kJ/kg·K)** de nuestro fluido caloportador.

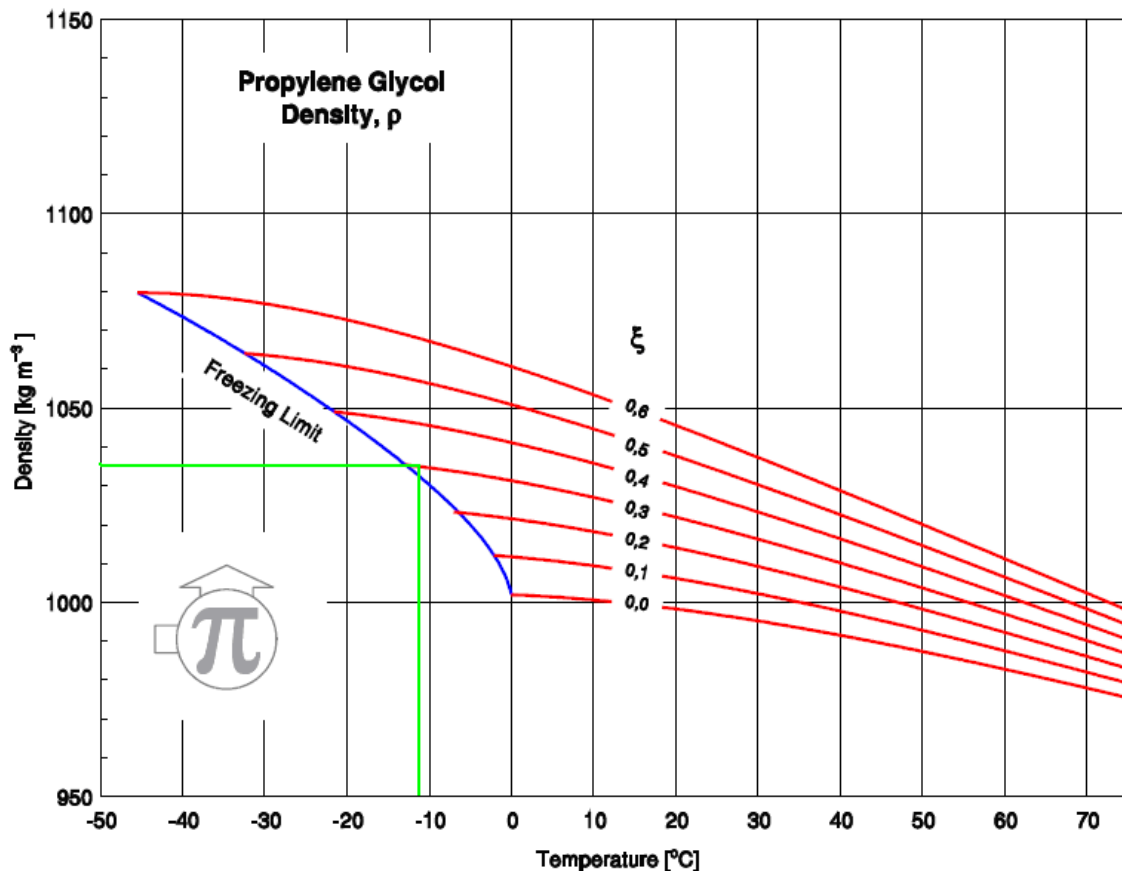


Figura 4.13. Densidad de propilenglicol en función de la proporción del mismo en la mezcla.

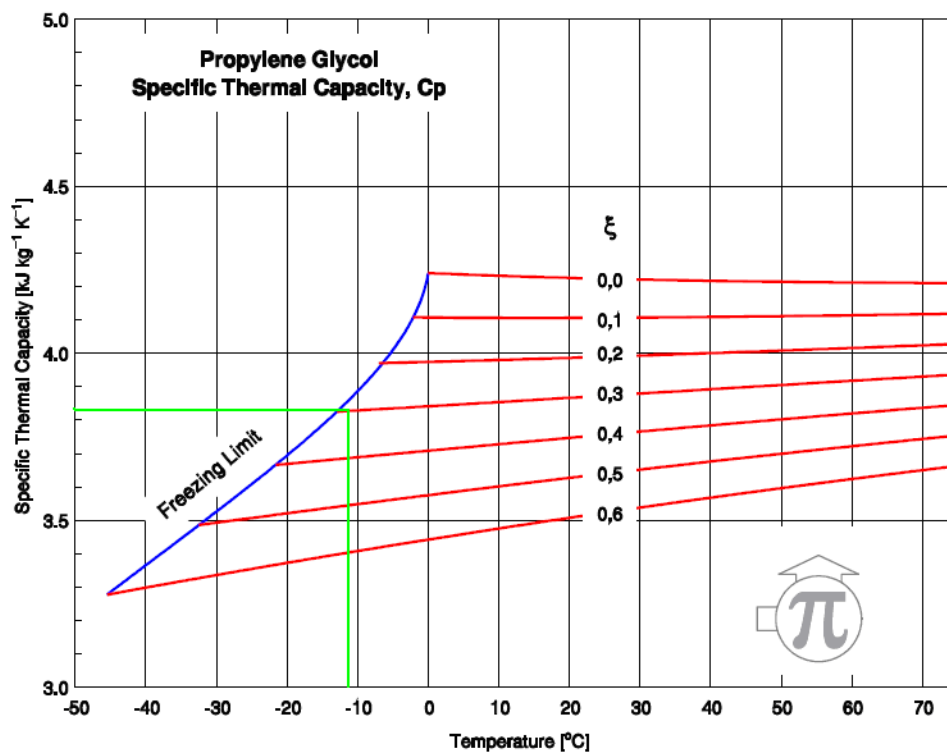


Figura 4.14. Capacidad calorífica de propilenglicol en función de la proporción del mismo en la mezcla.

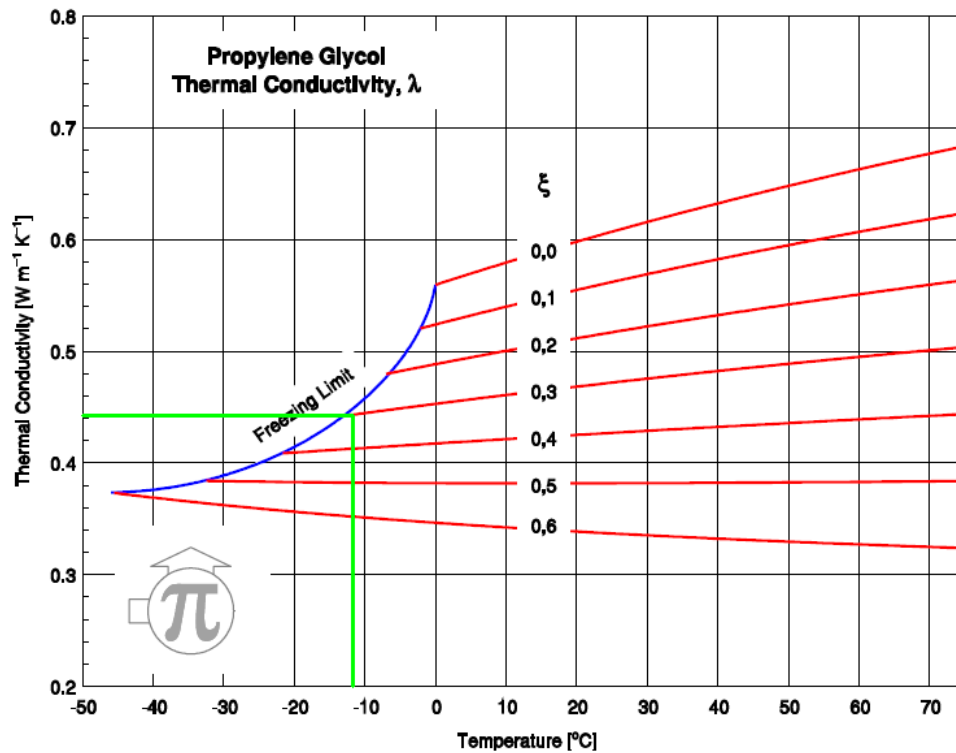


Figura 4.15. Conductividad térmica de propilenglicol en función de la proporción del mismo en la mezcla.

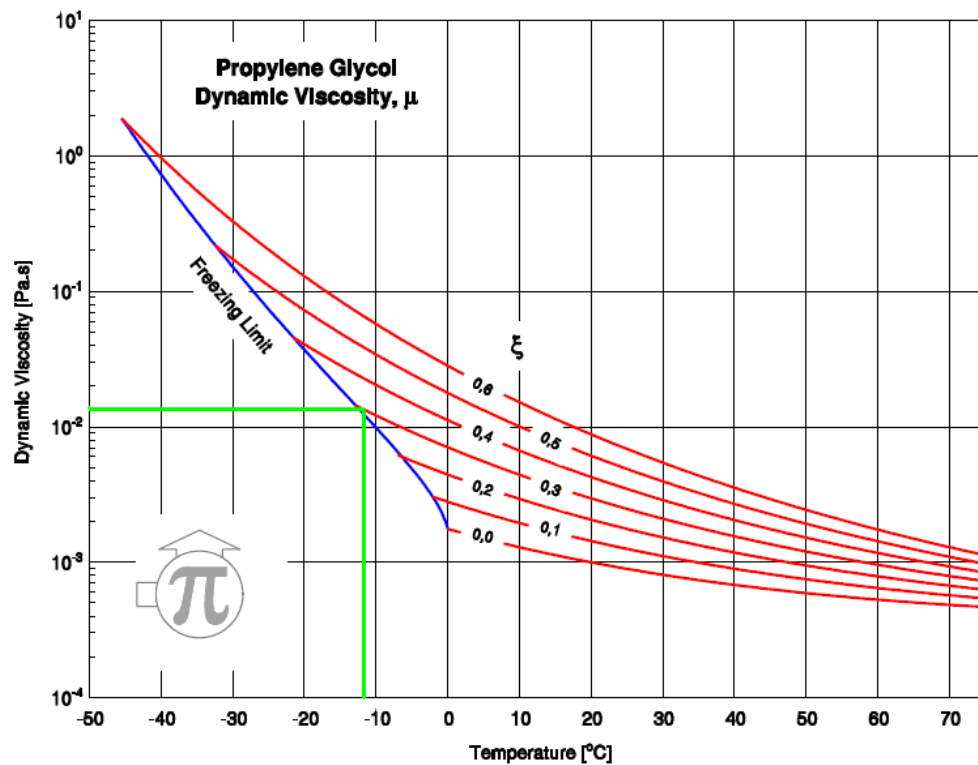


Figura 4.16. Viscosidad dinámica de propilenglicol en función de la proporción del mismo en la mezcla.

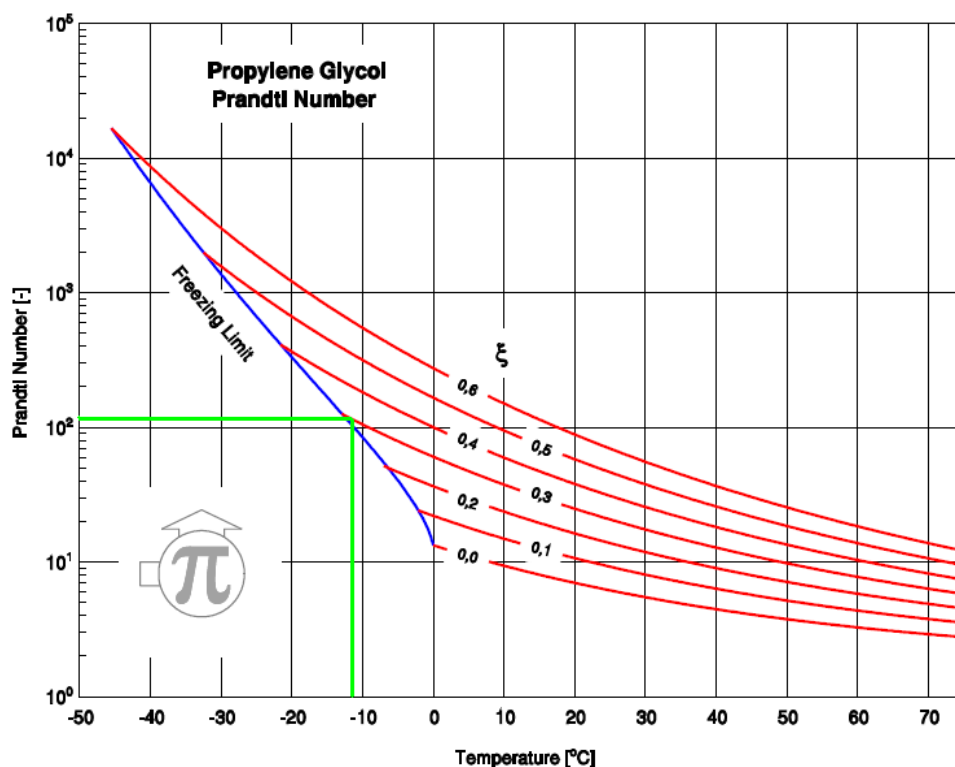


Figura 4.17. Número de Prandtl de propilenglicol en función de la proporción del mismo en la mezcla.

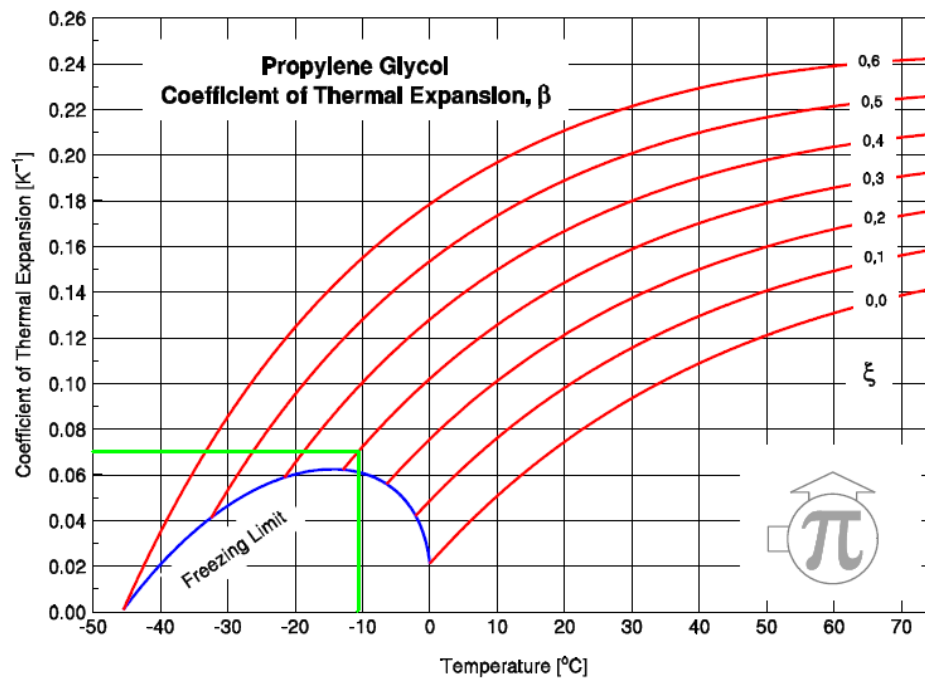


Figura 4.18. Coeficiente Térmico de Expansión del propilenglicol en función de la proporción del mismo en la mezcla.

A continuación se muestra la tabla que recoge todos los datos del fluido caloportador:

| Propylene glycol 30 % | |
|---|--------------------------|
| Densidad (kg/m^3) | 1035 |
| Calor específico ($\text{J/kg}\cdot\text{K}$) | 3820 |
| Viscosidad dinámica ($\text{Pa}\cdot\text{s}$) | 0,011 |
| Prandtl [-] | 10^2 |
| Conductividad térmica ($\text{W/m}\cdot\text{K}$) | 0,44 |
| Coeficiente de expansión (K^{-1}) | 0,07 |

Tabla 4.1. Propiedades del Propylene glycol al 30% de concentración.

4.1.3. TUBERÍAS

Para la elección de los **materiales** de las tuberías nos basaremos en el Código Técnico de la Edificación ya que en el apartado 3.4.5, de la Sección HE4, del DB HE, establece en su punto primero que en el circuito primario podrán utilizarse tuberías de cobre y de acero inoxidable, con uniones roscadas, soldadas o embridadas y protección exterior con pintura anticorrosivo.

También tendremos en cuenta la restricción que hace en el apartado 3.2., de la Sección HE4, pues dice que ya que si la instalación debe permitir que el agua alcance una temperatura de 60 °C, no se admitirá la existencia de componentes de acero galvanizado.

Se ha decidido que las tuberías del circuito primario que unirá el depósito de acumulación con las baterías de captadores solares de nuestra Instalación serán de cobre por ser técnicamente idóneo y económicamente muy competitivo.

Estas tuberías serán de cobre desoxidado al fósforo, que al contener pequeñas cantidades de fósforo residual facilita la soldadura de la misma. Además, el cobre posee una gran resistencia a la corrosión ya que se oxida rápidamente al contacto con el aire o agua, formándose una finísima capa de óxido que autoprotege de la posterior oxidación (pasivación).

El Cobre permite una fácil instalación y mecanizado así como una gran facilidad en su manipulación y admite grandes presiones.

El cobre puede resistir una o varias heladas, sin llegar a reventar. Por ello, además el cobre ofrece una buena seguridad de funcionamiento.

Las pérdidas de carga se ven sumamente reducidas, con respecto a otros materiales como el hierro, ya que tiene un acabado interior totalmente liso.

Además se ha de tener en cuenta que los accesorios de cobre son más fáciles de soldar, por lo que la mano de obra resultará más económica.

Para realizar el dimensionado de las tuberías del circuito primario tendremos en cuenta el apartado 4.2.1 del HS4, donde se limita la velocidad en las instalaciones de suministro en el interior de edificios para tuberías metálicas entre 0,50 m/s y 2 (m/s) para tuberías interiores y a 3 (m/s) para tuberías exteriores. Por lo que los diámetros de las tuberías serán calculados teniendo en cuenta que las pérdidas de carga por metro lineal de tubería no debe superar los 40 (mmca).

Por tanto el diámetro interior aceptable sería de 20 (mm), el diámetro exterior 22 (mm) y espesor 1 (mm). Los cálculos realizados se pueden consultar en el **ANEXO 4**.

Podemos observar que las medidas de la tubería que hemos escogido equivalen a una denominación en pulgadas de $\frac{3}{4}$ " como se puede apreciar en **TABLA ANEXO 4.2**. Además, si nos fijamos en nuestra instalación, observamos que las conexiones de nuestros paneles, como se puede ver en la ficha técnica del colector, son de $\frac{3}{4}$ ". Así, tomaremos esta medida como referencia de forma que las tuberías de nuestra instalación tendrán un espesor de 1 mm y un diámetro exterior de 22 (mm) ($\frac{3}{4}$ ").

Para corroborar que esta tubería era apropiada para nuestro caudal hemos utilizado el **Diagrama de pérdidas por rozamiento en tubería de cobre del ANEXO 4**, que es similar a la que encontramos en el documento técnico **DTIE 8.03.**, en la cual se entra con el caudal de la instalación, que es de $1,68 \cdot 10^{-4}$ (m³/s) y con el Diámetro interior de 20 (mm), obteniendo una pérdida de carga de 20 (mm.c.a.).

Como hemos mencionado anteriormente, el cobre tiene un elevado **coeficiente de dilatación** y las conducciones sometidas a diferencias de temperatura serán instaladas teniendo en cuenta las debidas precauciones.

Cuando esta dilatación no pueda ser absorbida por los accidentes del recorrido de la conducción (curvas, derivaciones, etc.) se pueden utilizar preferentemente, compensadores de dilatación. Cuando, debido a la longitud del tubo, sea necesario varios compensadores en serie, se le espaciara de manera regular, dirigiendo preferiblemente la dilatación en los dos sentidos, intercalando uno ó dos puntos fijos.

La dilatación del tubo cobre depende del coeficiente de dilatación lineal del material, el cual vale $17 \cdot 10^{-6}(\text{m})$ por metro de tubería y de la diferencia de temperatura.

La **dilatación** del tubo de cobre viene dada por la siguiente expresión:

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$$

donde: α : coeficiente de dilatación del material que está compuesta la tubería.

L : longitud de la tubería.

ΔT : variación de temperatura.

Por otra parte, el **aislamiento** constituye otro aspecto de vital importancia en el cálculo y diseño de las tuberías. A través de dicho aislamiento pretendemos alcanzar los siguientes objetivos:

- Reducir las pérdidas de calor en los fluidos calientes.
- Reducir las ganancias en los fríos, evitando las condensaciones superficiales.
- Favorecer la seguridad limitando las temperaturas superficiales a un valor máximo o evitando la formación de hielo.

El RITE establece el grosor mínimo del aislamiento de las tuberías en función de la temperatura máxima del fluido que circula por su interior y el diámetro de la canalización de acuerdo con la siguiente tabla:

| ESPESOR AISLAMIENTO TERMICO TUBERIAS (mm) | | | | |
|---|-------------------------|----------|-------------|----------|
| DIAMETRO EXTERIOR TUBERIA | TEMPERATURA MAXIMA AGUA | | | |
| | 40 a 65 °C | | 66 a 100 °C | |
| | INTERIOR | EXTERIOR | INTERIOR | EXTERIOR |
| $D \leq 35$ | 20 | 30 | 20 | 30 |
| $35 < D \leq 60$ | 20 | 30 | 30 | 40 |
| $60 < D \leq 90$ | 30 | 40 | 30 | 40 |
| $90 < D \leq 140$ | 30 | 40 | 40 | 50 |
| $140 < D$ | 30 | 40 | 40 | 50 |

Tabla 4.2. Espesor aislamiento térmico tuberías (mm).

Además, como se puede observar en la tabla anterior el RITE también establece que, cuando los componentes estén aislados al exterior, el espesor indicado en la tabla anterior será incrementado, como mínimo, en 10 mm para fluidos calientes, como se puede observar en la tabla anterior.

Estos espesores mínimos son validos para materiales de aislamiento con una conductividad térmica λ igual a 0,040 (W/m·K) a 20 °C.

Para materiales de aislamiento con una conductividad λ diferente de 0,040 (W/m·K) a 20 °C, el RITE indica el proceso de cálculo a seguir, como se puede observar en el **ANEXO 4**, junto con los cálculos realizados del Aislamiento de la instalación.

Nuestra instalación será aislada con **Aislamiento tubular flexible K-FLEX SOLAR forrado PVC** de Salvador Escoda, como ya hemos dicho anteriormente. En la parte interior de la instalación utilizaremos un aislamiento de 20 mm de espesor y para la parte exterior de la instalación utilizaremos un aislamiento de 30 mm de espesor, que son valores superiores a los mínimos calculados.

A continuación podemos ver una imagen del Aislante utilizado.



**Figura 4.19. Aislamiento tubular flexible
K-FLEX SOLAR forrado PVC.**

4.1.4. PÉRDIDAS DE TEMPERATURA EN LA INSTALACIÓN

Una vez analizados los captadores, el fluido caloportador, así como las conducciones de la instalación, pasaremos a continuación a realizar un cálculo de las pérdidas de carga térmica propias del circuito primario. Seguidamente, comprobaremos que el área captadora, calculada anteriormente, es suficiente para superar dichas pérdidas, estableciendo de esta forma que nuestra contribución solar sigue resultando aceptable, cubriendo la fracción solar mínima exigida por nuestra instalación (70 %).

Así, las pérdidas de temperatura de las tuberías del interior del edificio se considerarán inapreciables. Por ello, teniendo en cuenta que la distancia que hay que recorrer en nuestra instalación con tuberías por el exterior de 10 (m) para el tramo de ida y 10 metros para el tramo de vuelta, cabe esperar que el área captadora de la que disponemos sea suficiente, ya que para cubrir los 6,90 (m²) necesarios para cubrir el 70 % de la demanda energética de la instalación hemos necesitado usar 4 colectores de 2,16 (m²), obteniendo un área de captación total de 8,64 (m²).

Teniendo en cuenta todo lo anterior pasaremos a realizar el cálculo de nuestras pérdidas de temperatura y la repercusión en nuestro sistema.

Para realizar el cálculo de las pérdidas de temperatura, realizaremos el siguiente proceso:

- **Ajustaremos los cálculos realizados previamente** incluyendo los nuevos términos que nos surgen. Estos nuevos términos hacen alusión a las pérdidas de calor en los balances de energía realizados sobre los colectores y el intercambiador de nuestro sistema, los cuales han sido descritos con anterioridad.

Así, establecemos dos incógnitas nuevas en nuestro sistema, debidas a las pérdidas de temperatura que se producen en las tuberías de conexión entre los colectores solares y el intercambiador de calor:

- Una primera que hace referencia a la variación de temperatura del fluido caloportador desde la salida de los colectores hasta la entrada del intercambiador (T_{ice}).
 - La segunda hace referencia a la variación de temperatura desde la salida del intercambiador hasta la entrada a los colectores (T_{ics}).
- A continuación pasamos a **calcular las pérdidas de calor en el circuito primario:**

Para calcular dichas pérdidas de calor debemos tener en cuenta tanto las **pérdidas en las tuberías**, como las **pérdidas en los colectores**. De este modo y teniendo en cuenta el siguiente esquema de principios, calcularemos las pérdidas totales del circuito primario.

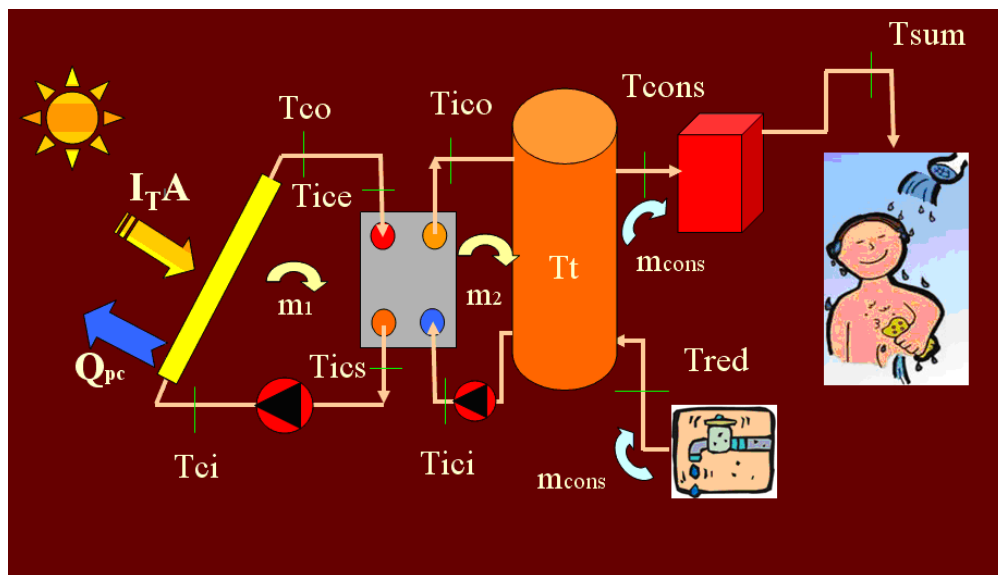


Figura 4.20. Sistema de ACS sobre el que se realizarán los balances energéticos.

Pérdidas en tuberías:

Para el cálculo de las pérdidas en las tuberías vamos a tener en cuenta las pérdidas de temperatura generadas en las tuberías que unen los colectores con el intercambiador, tanto el tramo de ida como el tramo de vuelta. Como se ha indicado anteriormente, consideramos despreciables las pérdidas en los tramos de tubería que circulan por el interior del edificio. De este modo, obtenemos dos tramos de tuberías con recorrido exterior para analizar de una longitud de 10 (m) cada una.

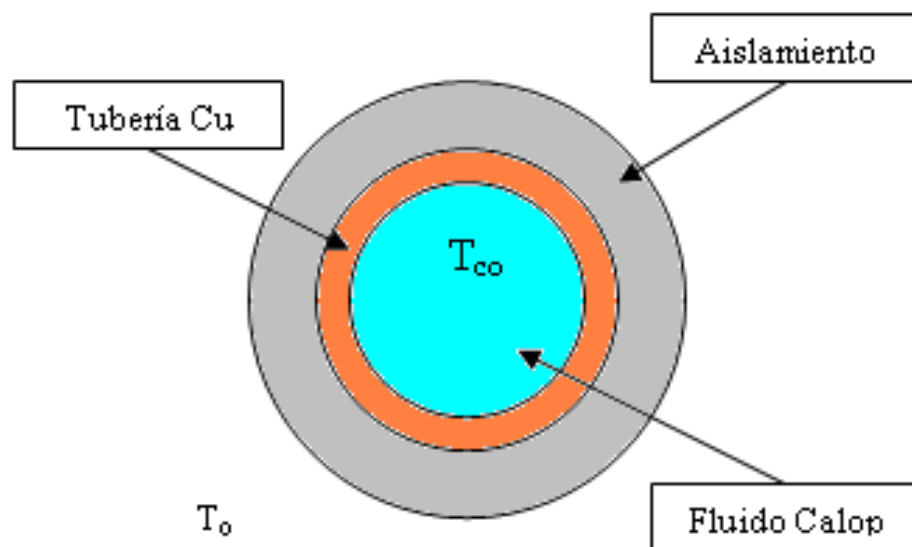


Figura 4.21. Sección de tubería de la instalación.

**Resistencia de convección del fluido caloportador**

La resistencia del fluido caloportador es de convección interna forzada.

▪ Datos tubo:

$$L_{tubo} = 10 \cdot (m)$$

$$R_{int} = 10 \cdot 10^{-3} \cdot (m)$$

- Cálculo del área de transferencia:

$$A_i = 2 \cdot \pi \cdot R_{int} \cdot L_{tubo} = 0,628 \cdot (m^2)$$

- La sección interna de la tubería será:

$$S_{tubo} = \pi \cdot R_{int}^2 = \pi \cdot 10^{-4} \cdot (m^2)$$

▪ Datos fluido:

$$\rho_{fluido} = 1035 \cdot (kg / m^3)$$

$$C_{pfluido} = 3820 \cdot (J / Kg \cdot K)$$

$$\mu_{fluido} = 10^{-1,95} = 0,0112 \cdot (Pa \cdot s)$$

$$k_{fluido} = 0,44 \cdot (W / m \cdot K)$$

$$Pr = 10^2 = 100$$

$$\dot{m}_1 = 0,173 \cdot (Kg / s)$$

$$Q = \frac{\dot{m}_1}{\rho} = 1,67 \cdot 10^{-4} (m^3 / s)$$

$$v_{fluido} = \frac{Q}{S} = 0,53 \cdot (m / s)$$

▪ **Ecuaciones y cálculos:**

- Cálculo del número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho_{fluido} \cdot v_{fluido} \cdot D_{int}}{\mu_{fluido}} = 983,34$$

- Cálculo del número de Nusselt: utilizaremos la ecuación de Dittus-Boelter.

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,3} = 22,69$$

- Calculo del coeficiente de convección h_i :

$$h_i = \frac{k_{fluido} \cdot Nu}{D_{int}} = 499,24 \cdot (W / m^2 \cdot K)$$

- Cálculo de la resistencia de convección:

$$R_{conv.fluidocal\phi.} = \frac{1}{h_i \cdot A_i} = 3,18 \cdot 10^{-3} \cdot (K / W)$$

Siendo:

- **h :** Coeficiente de convección interior ($W/m^2 \cdot K$).
- **A :** Área de la tubería (m^2).
- **k :** Conductividad térmica del fluido caloportador ($W/m \cdot K$).
- **ρ :** Densidad del fluido (Kg/m^3).
- **v :** Velocidad del fluido en (m/s).
- **Pr :** Número de Prandtl [-].
- **μ :** Viscosidad dinámica del fluido ($Pa \cdot s$).

Resistencia de conducción de la tubería▪ **Datos tubo:**

$$R_{ext} = 11 \cdot 10^{-3} \cdot (m) \quad R_{int} = 10 \cdot 10^{-3} \cdot (m) \quad L_{tubo} = 10 \cdot (m)$$

$$k_{Cu} = 385,2 \cdot (W / m \cdot K)$$

▪ **Ecuaciones y cálculos:**

- Cálculo de la resistencia de conducción:

$$R_{cond.tubo} = \frac{\ln(R_{ext} / R_{int})}{2 \cdot \pi \cdot k_{cu} \cdot L_{tubo}} = 3,938 \cdot 10^{-6} \cdot (K / W)$$

Resistencia de conducción del aislante▪ **Datos aislante:**

$$R_{ext} = 41 \cdot 10^{-3} \cdot (m) \quad R_{int} = 11 \cdot 10^{-3} \cdot (m) \quad L_{taislante} = 10 \cdot (m)$$

$$e_{aislante} = 30 \cdot 10^{-3} \cdot (m) \quad k_{aislante} = 0,039 \cdot (W / m \cdot K)$$

▪ **Ecuaciones y cálculos:**

- Cálculo de la resistencia de conducción:

$$R_{cond.aislante} = \frac{\ln(R_{ext} / R_{int})}{2 \cdot \pi \cdot k_{aislante} \cdot L_{aislante}} = 0,537 \cdot (K / W)$$

Resistencia de convección exterior en el aislante
Datos aislante:

$$L_{\text{aislante}} = 10 \cdot (m) \qquad R_{\text{ext}} = 41 \cdot 10^{-3} \cdot (m)$$

 ○ Cálculo del área de transferencia:

$$A_e = 2 \cdot \pi \cdot R_{\text{ext}} \cdot L_{\text{tubo}} = 2,576 \cdot (m^2)$$

Datos fluido (aire):

La velocidad del viento la hemos obtenido de Meteored y varía según el mes. Sus valores mensuales se pueden observar en la siguiente tabla:

| Mes | Velocidad del viento (Km/h) | Velocidad del viento (m/s) |
|------------|-----------------------------|----------------------------|
| Enero | 7,04 | 1,96 |
| Febrero | 7,89 | 2,19 |
| Marzo | 11,15 | 3,10 |
| Abril | 10,37 | 2,88 |
| Mayo | 8,95 | 2,49 |
| Junio | 7,93 | 2,20 |
| Julio | 9,36 | 2,60 |
| Agosto | 9,07 | 2,52 |
| Septiembre | 7,91 | 2,20 |
| Octubre | 6,97 | 1,94 |
| Noviembre | 6,11 | 1,70 |
| Diciembre | 8,66 | 2,41 |
| Media Año | 8,45 | 2,35 |

Tabla 4.3. Velocidad del viento mensual en Cáceres.



El resto de sus propiedades son:

$$\rho_{aire} = 1,185 \cdot (kg/m^3)$$

$$C_{paire} = 1004,67 \cdot (J/Kg \cdot K)$$

$$\mu_{aire} = 1,795 \cdot 10^{-5} \cdot (Pa \cdot s)$$

$$\nu_{aire} = 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot (Pa \cdot s)$$

$$k_{aire} = 0,02 \cdot (W/m \cdot K)$$

$$Pr = \frac{\nu_{aire} \cdot C_{paire}}{k_{aire}} = 0,75$$

▪ Ecuaciones y cálculos:

- Cálculo del número de Reynolds:

Como la velocidad del viento es variable según el mes obtendremos un Reynolds diferente para cada mes.

$$Re_{aire} = \frac{\rho_{aire} \cdot v_{viento} \cdot D_{ext}}{\mu_{aire}} > 2300, \text{ régimen turbulento}$$

- Cálculo del número de Nusselt: utilizaremos la ecuación de Dittus-Boelter.

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,3}$$

- Cálculo del coeficiente de convección h_e :

$$h_e \cdot (W/m^2 \cdot K) = \frac{k_{aire} \cdot Nu}{L_{aislante}}$$

- Cálculo de la resistencia de convección exterior:

$$R_{conv.E.asil.} (K/W) = \frac{1}{h_e \cdot A_e}$$

- Valores mensuales obtenidos de los cálculos realizados:

En la siguiente tabla podemos observar los valores obtenidos, comprobando que el Reynolds está comprendido en el rango $2300 < Re < 1,24 \cdot 10^5$, por lo que el régimen es turbulento.

| Mes | Velocidad del viento (m/s) | Reynolds | Nusselt | h_e (W/m ² ·K) | $R_{conv.E.asil.}$ (K/W) |
|------------|----------------------------|----------|---------|--------------------------------|-----------------------------|
| Enero | 1,96 | 10610,21 | 35,06 | 0,07 | 5,536 |
| Febrero | 2,19 | 11855,28 | 38,32 | 0,08 | 5,066 |
| Marzo | 3,10 | 16781,45 | 50,60 | 0,10 | 3,836 |
| Abril | 2,88 | 15590,51 | 47,70 | 0,10 | 4,069 |
| Mayo | 2,49 | 13479,29 | 42,46 | 0,08 | 4,571 |
| Junio | 2,20 | 11909,42 | 38,46 | 0,08 | 5,047 |
| Julio | 2,60 | 14074,76 | 43,95 | 0,09 | 4,416 |
| Agosto | 2,52 | 13641,69 | 42,87 | 0,09 | 4,528 |
| Septiembre | 2,20 | 11909,42 | 38,46 | 0,08 | 5,047 |
| Octubre | 1,94 | 10501,94 | 34,77 | 0,07 | 5,581 |
| Noviembre | 1,70 | 9202,73 | 31,29 | 0,06 | 6,203 |
| Diciembre | 2,41 | 13046,22 | 41,37 | 0,08 | 4,692 |
| Media Año | 2,35 | 12716,91 | 40,44 | 0,08 | 4,88 |

Tabla 4.4. Resistencia de Convección Externa del Aislante.

Resistencia total de la tubería

La Resistencia total de la tubería será diferente para cada mes, y será la suma total de las resistencias. Los valores obtenidos se pueden ver en la tabla.4.X.

$$R_T(K/W) = \sum_{i=1}^4 R$$

Coefficiente de transferencia de calor:

Incorporamos el concepto de coeficiente global de transferencia de calor, $U(W/m^2 \cdot K)$, el cual se relaciona con el calor mediante la siguiente ecuación:

$$Q = UA \cdot \Delta T_{total}$$

Dicho coeficiente se relaciona con R_T a través de:

$$R_{total} = \frac{1}{U \cdot A}$$

Como la $R_{conv.E.aisl.}$ es distinta para cada mes, el coeficiente de transferencia de calor también lo será, como se puede observar en la siguiente tabla:

| Mes | R_T (K/W) | $U \cdot A$ (W/K) |
|------------|-------------|-------------------|
| Enero | 6,076 | 0,165 |
| Febrero | 5,606 | 0,178 |
| Marzo | 4,376 | 0,229 |
| Abril | 4,609 | 0,217 |
| Mayo | 5,111 | 0,196 |
| Junio | 5,587 | 0,179 |
| Julio | 4,956 | 0,202 |
| Agosto | 5,068 | 0,197 |
| Septiembre | 5,587 | 0,179 |
| Octubre | 6,122 | 0,163 |
| Noviembre | 6,743 | 0,148 |
| Diciembre | 5,232 | 0,191 |
| Media Año | 5,423 | 0,187 |

Tabla 4.5. Valores obtenidos de R_T y $U \cdot A$.

Calor perdido

Como las dimensiones de las tuberías de ida y de vuelta son idénticas, el coeficiente global de calor de estas será el mismo. Una vez conocido este dato ya podemos obtener las ecuaciones del calor perdido en cada tramo.

- **Calor perdido en el tramo de ida:**

$$Q_{ida} = UA_{ida} \cdot \frac{(T_{co} - T_o) - (T_{ice} - T_o)}{\ln\left(\frac{T_{co} - T_o}{T_{ice} - T_o}\right)}$$

- **Calor perdido en el tramo de vuelta:**

$$Q_{vuelta} = UA_{ida} \cdot \frac{(T_{ics} - T_o) - (T_{ci} - T_o)}{\ln\left(\frac{T_{ics} - T_o}{T_{ci} - T_o}\right)}$$

Ecuaciones obtenidas

Por tanto, las ecuaciones para el tramo de ida y el tramo de vuelta de tubería quedarán:

- **Tramo de ida:**

$$m_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{ico} - T_{ics}) = UA_{ida} \cdot \frac{(T_{co} - T_o) - (T_{ice} - T_o)}{\ln\left(\frac{T_{co} - T_o}{T_{ice} - T_o}\right)}$$

- **Tramo de vuelta:**

$$m_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{ico} - T_{ics}) = UA_{ida} \cdot \frac{(T_{ics} - T_o) - (T_{ci} - T_o)}{\ln\left(\frac{T_{ics} - T_o}{T_{ci} - T_o}\right)}$$

Pérdidas en los colectores:

Introducción.

El rendimiento de un colector se define como la relación entre la energía útil transferida al fluido caloportador y la energía solar incidente sobre él (radiación solar), y depende de la temperatura de proceso, la radiación, la temperatura ambiente, dirección y velocidad del viento, así como de diversos parámetros característicos del colector como son: espesor, calidad de aislamiento, características ópticas del absorbedor y cubierta transparente, etc.

En el colector solar se produce la transformación de energía solar en forma de radiación térmica en energía útil manifestada como una elevación de la temperatura de un fluido caloportador. Esta transformación puede ser más o menos eficiente según las pérdidas térmicas inherentes al colector, ocasionadas por procesos de transferencia de calor mediante conducción, convección y radiación.

Por este motivo, los fabricantes caracterizan a los colectores con unas curvas de rendimiento que permiten evaluar la variación de la eficiencia de cada captador en función de las condiciones, nombradas anteriormente, de las que depende.

El principal inconveniente de estas curvas de rendimiento es que no tienen en cuenta el efecto del viento, lo que produce una diferencia entre las condiciones reales y las predichas por la curva de normalización. Esto motivó al Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos de la Universidad Carlos III de Madrid a realizar un experimento para evaluar cómo se modifican las prestaciones de los colectores al menos en función de los valores locales de la velocidad y el viento.

De los resultados obtenidos del experimento, el Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos de la Universidad Carlos III de Madrid, elaboró un modelo de transferencia de calor en régimen no estacionario capaz de cuantificar las pérdidas de calor de los colectores y predecir su comportamiento en distintas condiciones de uso, validando los resultados experimentalmente como menciona el artículo de referencia: **Rodríguez M.C., Rodríguez P.A., Salgado R., Venegas M., Lecuona A.; Transferencia de calor en colectores solares planos, considerando velocidad y dirección del viento. Proceedings XIV Congreso Ibérico y IX Congreso Iberoamericano de Energía Solar. Vigo, Galicia España 2008, pp 407-412 ISBN978-84-612-4470-6**, que se puede ver en el **ANEXO 4**.

Por ello, se hará un análisis más concreto de todas las pérdidas producidas en el colector en base este experimento y al modelo elaborado a partir del mismo, del cual se han obtenido correlaciones empíricas para el número de Nusselt tanto para las caras exteriores del colector como para la capa de aire presente en el interior del mismo, caracterizando todos los procesos de transferencia de calor del colector, tanto en las superficies internas como externas, y estas correlaciones serán las que utilicemos para el cálculo de pérdidas en el colector ya que el modelo elaborado permite predecir el comportamiento real del colector bajo unas condiciones específicas de viento y envejecimiento.

La modelización está basada en realizar un balance de energía no estacionario sobre el colector de forma que se determinan en detalle las pérdidas térmicas. Los procesos de transferencia de calor contemplados en el modelo son: radiación existente entre la superficie acristalada y el cielo, convección forzada externa sobre el cristal de los colectores, conductividad en el cristal, convección natural en la capa de aire interna entre el cristal y el absorbedor, radiación entre el absorbedor y el cristal debida a la diferencia de temperaturas existentes entre ambos, conductividad en el aislante, conductividad en el tubo de cobre, convección forzada en la parte trasera de los colectores.

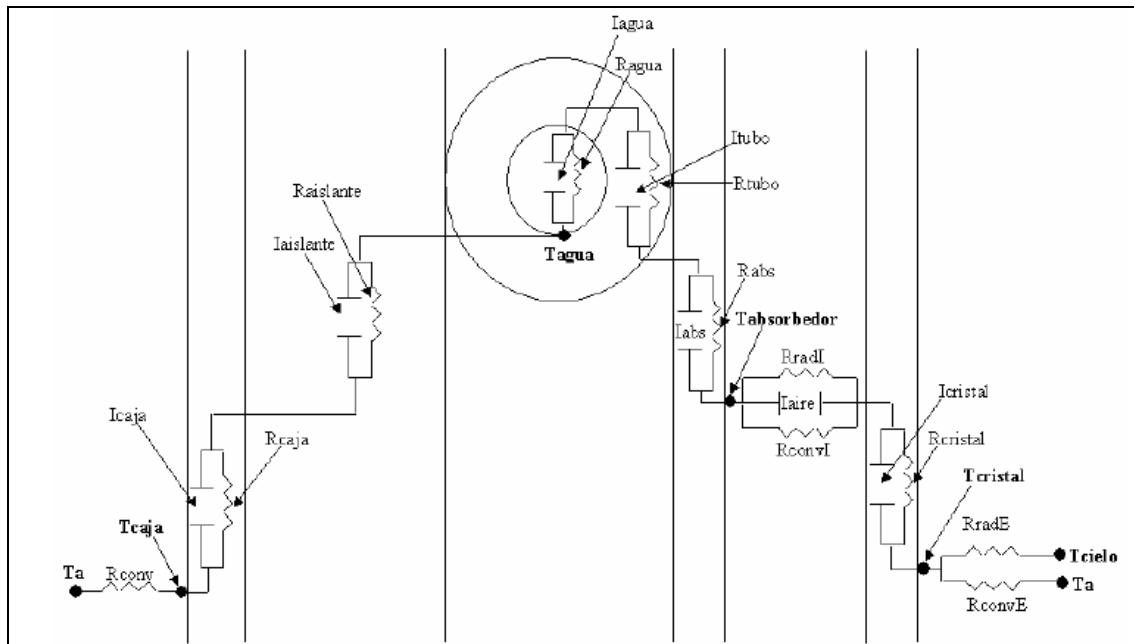


Figura 4.22. Esquema de resistencias térmicas del colector.

El anterior circuito se queda reducido al siguiente esquema:

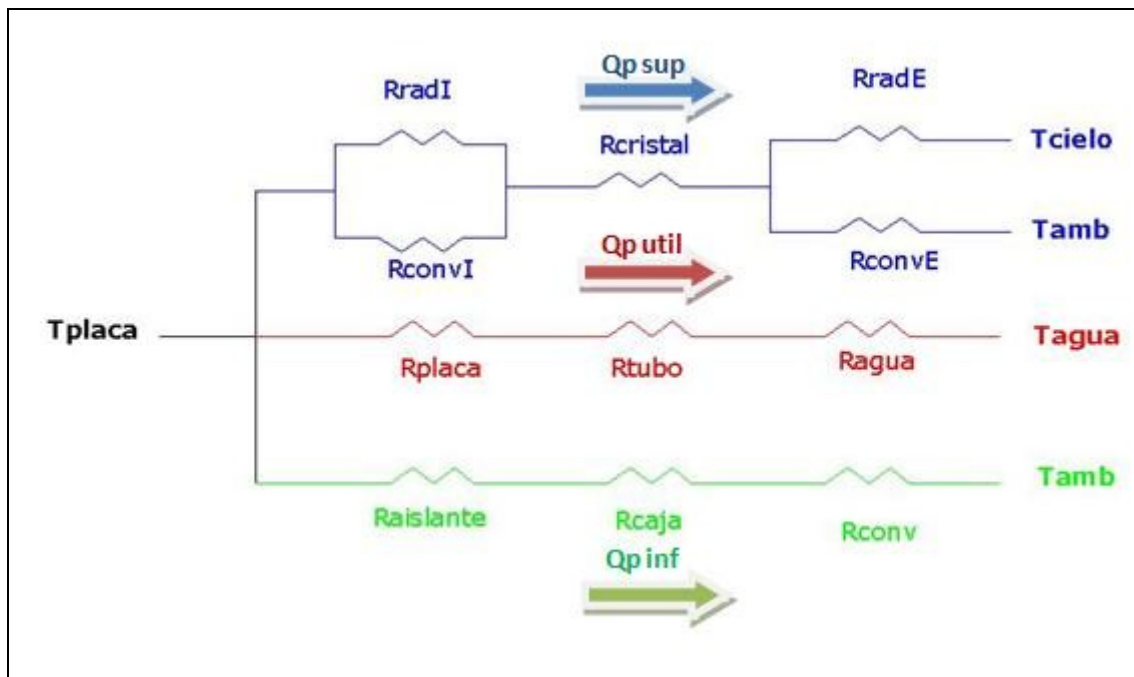


Figura 4.23. Esquema reducido de resistencias térmicas de un colector.

Se puede observar que las pérdidas se dividen en tres ramas en las que calcularemos las pérdidas correspondientes.

Pérdidas en la rama Inferior.

Para obtener las pérdidas de temperatura en el colector de esta rama tenemos que calcular las pérdidas que se producen en el aislante, que es lana mineral de alta densidad, en la caja de aluminio y las pérdidas con el ambiente.

Resistencia de conducción del aislante

La carcasa está recubierta de un aislamiento de Poliuretano libre de CFC de 25 (mm) de espesor y de Lana de vidrio de 20 (mm) de espesor por la parte posterior.

Calculamos la resistencia de cada uno de los aislantes según la siguiente expresión:

$$R_{\text{aislante}} \cdot (K/W) = \frac{e_{\text{aislante}}}{k_{\text{aislante}} \cdot A_{\text{aislante}}}$$

Como tenemos dos aislantes distintos debemos calcular el aislamiento de cada uno de ellos para obtener el aislamiento total.

a) Poliuretano:

▪ **Datos aislante:**

$$A_{\text{aislante}} = 2,3 \cdot (m^2) \quad e_{\text{aislante}} = 25 \cdot 10^{-3} \cdot (m) \quad k_{\text{aislante}} = 0,030 \cdot (W / m \cdot K)$$

▪ **Ecuaciones y cálculos:**

○ Cálculo de la resistencia de conducción:

$$R_{\text{cond.Poli}} = \frac{e}{k_{\text{aislante}} \cdot A_{\text{aislante}}} = 0,36 \cdot (K / W)$$

b) Lana de vidrio:

▪ **Datos aislante:**

$$A_{\text{aislante}} = 2,3 \cdot (m^2) \quad e_{\text{aislante}} = 25 \cdot 10^{-3} \cdot (m) \quad k_{\text{aislante}} = 0,035 \cdot (W / m \cdot K)$$

▪ **Ecuaciones y cálculos:**

- Cálculo de la resistencia de conducción:

$$R_{\text{cond.Lana}} = \frac{e}{k_{\text{aislante}} \cdot A_{\text{aislante}}} = 0,31 \cdot (K / W)$$

c) Total Aislante:

Por lo tanto la Resistencia a conducción del aislante es:

$$R_{\text{cond.aislante}} = R_{\text{cond.Poli.}} + R_{\text{cond.Lana}} = 0,67 \cdot (K / W)$$

Resistencia de conducción de la caja

La parte posterior del colector está formado por Aluminio Extruido de 1,5 (mm) de espesor.

▪ **Datos Aluminio Extruido:**

$$A_{AE} = 2,3 \cdot (m^2) \quad e_{PE} = 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot (m) \quad k_{AE} = 205 \cdot (W / m \cdot K)$$

▪ **Ecuaciones y cálculos:**

- Cálculo de la resistencia de conducción:

$$R_{\text{cond.AE}} = \frac{e}{k_{AE} \cdot A_{AE}} = 3,18 \cdot 10^{-6} \cdot (K / W)$$

Resistencia de convección en la parte posterior del colector▪ **Datos caja:**

$$A_{caja} = 2,3 \cdot (m^2) \quad L_{característica.caja} = 1,213 \cdot (m)$$

▪ **Datos fluido (aire):**

La velocidad del viento la hemos obtenido de Meteored y varía según el mes. Sus valores mensuales se pueden observar en la tabla 4.3.

El resto de sus propiedades son:

$$\rho_{aire} = 1,185 \cdot (kg/m^3) \quad C_{paire} = 1004,67 \cdot (J/Kg \cdot K)$$

$$\mu_{aire} = 1,795 \cdot 10^{-5} \cdot (Pa \cdot s) \quad \nu_{aire} = 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot (Pa \cdot s)$$

$$k_{aire} = 0,02 \cdot (W/m \cdot K) \quad Pr = \frac{\nu_{aire} \cdot C_{paire}}{k_{aire}} = 0,75$$

▪ **Ecuaciones y cálculos:**○ Cálculo del número de Reynolds:

Como la velocidad del viento es variable según el mes obtendremos un Reynolds diferente para cada mes.

$$Re_{aire} = \frac{\rho_{aire} \cdot v_{viento} \cdot L}{\mu_{aire}}$$

- Cálculo del número de Nusselt:

Para calcularla usamos las correlaciones proporcionadas por el Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos, por lo que el Nusselt es:

$$Nu = 8,948 \cdot Re^{0,395} \cdot Pr^{1/3}$$

- Calculo del coeficiente de convección h_e :

$$h_{caja} \cdot (W/m^2 \cdot K) = \frac{k_{aire} \cdot Nu}{L_{caja}}$$

- Cálculo de la resistencia de convección exterior:

$$R_{conv.caja} (K/W) = \frac{1}{h_e \cdot A_e}$$

- Valores mensuales obtenidos de los cálculos realizados:

| Mes | Velocidad del viento (m/s) | Reynolds | Nusselt | h_e (W/m ² ·K) | $R_{conv.}$ (K/W) |
|------------|----------------------------|------------|----------|-----------------------------|-------------------|
| Enero | 1,96 | 156953,415 | 917,964 | 15,135 | 0,029 |
| Febrero | 2,19 | 175371,418 | 959,091 | 15,814 | 0,027 |
| Marzo | 3,10 | 248242,646 | 1100,202 | 18,140 | 0,024 |
| Abril | 2,88 | 230625,426 | 1068,672 | 17,620 | 0,025 |
| Mayo | 2,49 | 199394,900 | 1008,982 | 16,636 | 0,026 |
| Junio | 2,20 | 176172,201 | 960,819 | 15,842 | 0,027 |
| Julio | 2,60 | 208203,510 | 1026,358 | 16,923 | 0,026 |
| Agosto | 2,52 | 201797,248 | 1013,766 | 16,715 | 0,026 |
| Septiembre | 2,20 | 176172,201 | 960,819 | 15,842 | 0,027 |
| Octubre | 1,94 | 155351,850 | 914,253 | 15,074 | 0,029 |
| Noviembre | 1,70 | 136133,064 | 867,784 | 14,308 | 0,030 |
| Diciembre | 2,41 | 192988,638 | 996,050 | 16,423 | 0,026 |
| Media Año | 2,35 | 188117,210 | 982,897 | 16,206 | 0,027 |

Tabla 4.6. Resistencia de convección posterior de la caja.

Pérdidas en la rama inferior

Para calcular estas pérdidas debemos conocer la temperatura de la caja, la cual calculamos a partir de la siguiente correlación proporcionada por el Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos:

$$T_{caja} = 1,021 \cdot T_{amb} - 1,762$$

A partir de estos datos podemos obtener el valor de las pérdidas producidas en la rama inferior sin más que aplicar la siguiente expresión:

$$Q_{Pinf} = \frac{T_{caja} - T_{amb}}{R_{conv.}}$$

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para cada mes:

| Mes | T _{amb} (K) | T _{caja} (K) | R _{conv.} (K/W) | Q _{Pinf} (W) |
|-------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Enero | 283 | 287,181 | 0,029 | 145,547 |
| Febrero | 284 | 288,202 | 0,027 | 152,832 |
| Marzo | 287 | 291,265 | 0,024 | 177,946 |
| Abril | 289 | 293,307 | 0,025 | 174,549 |
| Mayo | 292 | 296,37 | 0,026 | 167,210 |
| Junio | 298 | 302,496 | 0,027 | 163,819 |
| Julio | 301 | 305,559 | 0,026 | 177,446 |
| Agosto | 301 | 305,559 | 0,026 | 175,269 |
| Septiembre | 298 | 302,496 | 0,027 | 163,819 |
| Octubre | 292 | 296,37 | 0,029 | 151,511 |
| Noviembre | 287 | 291,265 | 0,030 | 140,355 |
| Diciembre | 283 | 287,181 | 0,026 | 157,928 |
| Media Año | 291,25 | 295,60425 | 0,027 | 162,352 |

Tabla 4.7. Pérdidas inferiores.

**Cálculo de la temperatura de la placa**

Para calcular la temperatura de la placa utilizaremos la siguiente expresión:

$$T_{placa} = (Q_{Pinf} \cdot (R_{aislante} + R_{caja})) + T_{caja}$$

Los datos obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

| Mes | Q_{Pinf} (W) | T_{caja} (K) | $R_{cond.aisl.}$ (K/W) | $R_{cond.caja}$ (K/W) | T_{placa} (k) |
|------------------|----------------|------------------|------------------------|---|-----------------|
| Enero | 145,547 | 287,181 | 0,67 | $3,181 \cdot 10^{-6}$ | 385,117 |
| Febrero | 152,832 | 288,202 | 0,67 | $3,181 \cdot 10^{-6}$ | 391,039 |
| Marzo | 177,946 | 291,265 | 0,67 | $3,181 \cdot 10^{-6}$ | 411,002 |
| Abril | 174,549 | 293,307 | 0,67 | $3,181 \cdot 10^{-6}$ | 410,757 |
| Mayo | 167,210 | 296,37 | 0,67 | $3,181 \cdot 10^{-6}$ | 408,882 |
| Junio | 163,819 | 302,496 | 0,67 | $3,181 \cdot 10^{-6}$ | 412,727 |
| Julio | 177,446 | 305,559 | 0,67 | $3,181 \cdot 10^{-6}$ | 424,959 |
| Agosto | 175,269 | 305,559 | 0,67 | $3,181 \cdot 10^{-6}$ | 423,494 |
| Septiembre | 163,819 | 302,496 | 0,67 | $3,181 \cdot 10^{-6}$ | 412,727 |
| Octubre | 151,511 | 296,37 | 0,67 | $3,181 \cdot 10^{-6}$ | 398,319 |
| Noviembre | 140,355 | 291,265 | 0,67 | $3,181 \cdot 10^{-6}$ | 385,707 |
| Diciembre | 157,928 | 287,181 | 0,67 | $3,181 \cdot 10^{-6}$ | 393,448 |
| Media Año | 162,352 | 295,60425 | 0,67 | $3,181 \cdot 10^{-6}$ | 404,848 |

Tabla 4.8. Temperatura de la placa.

Pérdidas en la rama útil

Para obtener el flujo de calor que circula por la rama útil debemos previamente conocer la Temperatura del agua que circula por dentro del colector, la Resistencia del fluido caloportador, la Resistencia de los tubos y la Resistencia de la placa, a continuación vamos a desarrollar estos términos.

Temperatura del agua

Con la curva normalizada del rendimiento del captador, aportados por el fabricante del colector elegido, sacaremos la temperatura a la que circula el agua.

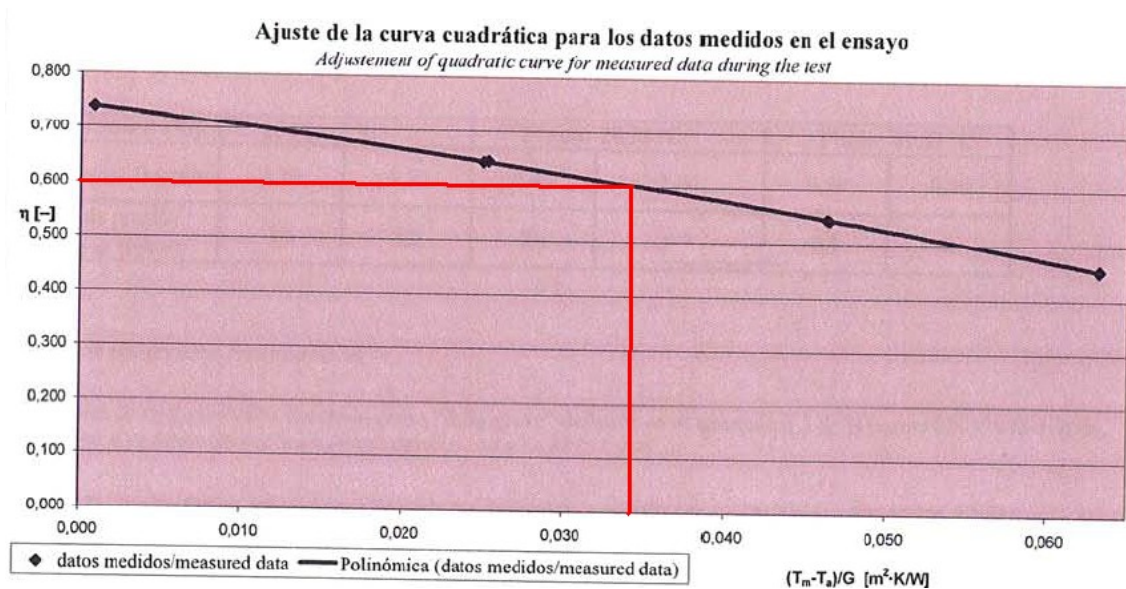


Figura 4.24. Curva de eficiencia del colector.

A partir del valor medio de $\left(\frac{T_m - T_a}{G}\right)$, obtenido de la figura anterior, podemos calcular

la temperatura del agua, sin más que aplicar la siguiente relación:

$$T_{agua} = \left(\left(\frac{T_m - T_a}{G} \right) \cdot I \right) + T_{amb}$$

siendo:

- **I** : Irradiación solar en (W/m^2).
- $\left(\frac{T_m - T_a}{G} \right)$: valor obtenido de la gráfica normalizada del fabricante. Este valor será de 0,034 que es el valor con eficiencia media (0,6).

Los datos obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

| Mes | I (W/m^2) | T_{amb} (K) | T_{agua} (K) |
|------------|------------------------|----------------------|-----------------------|
| Enero | 305,76 | 283 | 293,396 |
| Febrero | 379,63 | 284 | 296,907 |
| Marzo | 524,03 | 287 | 304,817 |
| Abril | 616,08 | 289 | 309,947 |
| Mayo | 659,12 | 292 | 314,410 |
| Junio | 733,92 | 298 | 322,953 |
| Julio | 838,07 | 301 | 329,494 |
| Agosto | 805,82 | 301 | 328,398 |
| Septiembre | 720,51 | 298 | 322,497 |
| Octubre | 507,61 | 292 | 309,259 |
| Noviembre | 423,37 | 287 | 301,395 |
| Diciembre | 331,22 | 283 | 294,262 |
| Media Año | 570,43 | 291,25 | 310,645 |

Tabla 4.9. Temperatura del agua.

Resistencia de la placa

La resistencia de la placa es de conducción, para determinarla tomaremos el valor extraído del artículo de referencia **Rodríguez M.C., Rodríguez P.A., Salgado R., Venegas M., Lecuona A.; Transferencia de calor en colectores solares planos, considerando velocidad y dirección del viento. Proceedings XIV Congreso Ibérico y IX Congreso Iberoamericano de Energía Solar. Vigo, Galicia España 2008, pp 407-412 ISBN978-84-612-4470-6**. Y este valor es:

$$R_{placa} = 0,012 \cdot (K/W)$$

Resistencia de convección del fluido caloportador

La resistencia del fluido caloportador es de convección interna forzada. El fluido caloportador elegido para la protección contra heladas de la instalación es Propilene Glycol al 30% de concentración. Y sus propiedades, calculadas anteriormente, se pueden ver a continuación.

| Propylene glycol 30 % | |
|--|-----------------------|
| Densidad (kg/m ³) | 1035 |
| Calor específico (J/kg·K) | 3820 |
| Viscosidad dinámica (Pa·s) | 0,011 |
| Prandtl [-] | 10² |
| Conductividad térmica (W/m·K) | 0,44 |
| Coefficiente de expansión (K ⁻¹) | 0,07 |

▪ **Datos tubo:**

$$L_{tubo} = 1,90 \cdot (m) \quad R_{int} = 5 \cdot 10^{-3} \cdot (m)$$

○ Cálculo del área de transferencia:

$$A_{tubos} = 2 \cdot \pi \cdot R_{int} \cdot L_{tubo} = 0,0597 \cdot (m^2)$$

- La sección interna de la tubería será:

$$S_{tubo} = \pi \cdot R_{int}^2 = 7,854 \cdot 10^{-5} \cdot (m^2)$$

- **Datos fluido:**

$$\rho_{fluido} = 1035 \cdot (kg / m^3) \qquad C_{pfluido} = 3820 \cdot (J / Kg \cdot K)$$

$$\mu_{fluido} = 10^{-1,95} = 0,0112 \cdot (Pa \cdot s) \qquad k_{fluido} = 0,44 \cdot (W / m \cdot K)$$

$$Pr = 10^2 = 100 \qquad \dot{m}_1 = 4,3 \cdot 10^{-3} \cdot (Kg / s)$$

$$Q = \frac{\dot{m}_1}{\rho} = 4,2 \cdot 10^{-6} (m^3 / s) \qquad v_{fluido} = \frac{Q}{S} = 0,053 \cdot (m / s)$$

- **Ecuaciones y cálculos:**

- Cálculo del número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho_{fluido} \cdot v_{fluido} \cdot D_{int}}{\mu_{fluido}} = 49,417$$

- Cálculo del número de Nusselt: utilizaremos la ecuación de Dittus-Boelter.

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} = 3,287$$

- Cálculo del coeficiente de convección h_i :

$$h_i = \frac{k_{fluido} \cdot Nu}{D_{int}} = 144,639 \cdot (W / m^2 \cdot K)$$

- Cálculo de la resistencia de convección:

$$R_{fluico.calop.} = \frac{1}{h_{fluico.calop.} \cdot A_{tubos}} = 0,1158 \cdot (K / W)$$

Resistencia de conducción exterior de los tubos

El colector está formado por 10 tubos de diámetro 12 (mm) y 2 colectores de diámetro 22 (mm).

Como tenemos dos tipos de tubos distintos debemos calcular la resistencia de conducción de cada uno.

- a) Tubo 12 (mm):

- **Datos tubo:**

$$\begin{aligned} R_{ext} &= 6 \cdot 10^{-3} \cdot (m) & R_{int} &= 5 \cdot 10^{-3} \cdot (m) & L_{tubo} &= 1,90 \cdot (m) \\ k_{Cu} &= 385,2 \cdot (W / m \cdot K) & n^{\circ}_{tubos} &= 10 \cdot (tubos) \end{aligned}$$

- **Ecuaciones y cálculos:**

- Cálculo de la resistencia de conducción:

$$R_{cond.tubo} = \frac{\ln(R_{ext} / R_{int})}{2 \cdot \pi \cdot k_{cu} \cdot L_{tubo}} = 3,96 \cdot 10^{-5} \cdot (K / W)$$

- b) Colector 22 (mm):

- **Datos tubo:**

$$\begin{aligned} R_{ext} &= 22 \cdot 10^{-3} \cdot (m) & R_{int} &= 20 \cdot 10^{-3} \cdot (m) & L_{tubo} &= 1,213 \cdot (m) \\ k_{Cu} &= 385,2 \cdot (W / m \cdot K) & n^{\circ}_{colectores} &= 2 \cdot (colectores) \end{aligned}$$

- **Ecuaciones y cálculos:**

- Cálculo de la resistencia de conducción:

$$R_{cond.colector} = \frac{\ln(R_{ext} / R_{int})}{2 \cdot \pi \cdot k_{cu} \cdot L_{tubo}} = 3,25 \cdot 10^{-5} \cdot (K / W)$$

- c) Total Resistencia tubos:

Por lo tanto la Resistencia a conducción de los tubos es:

$$R_{cond.tubos} = \left(\left(\frac{1}{R_{cond.colector} \cdot n^{\circ}_{colectores}} \right) + \left(\frac{1}{R_{cond.tubos} \cdot n^{\circ}_{tubos}} \right) \right)^{-1} = 3,967 \cdot 10^{-4} \cdot (K / W)$$

Pérdidas en la rama útil

Una vez calculados todos los parámetros podemos hallar el flujo de calor que circula por la rama útil, siendo este:

$$Q_{Putil} = \frac{T_{placa} - T_{agua}}{R_{agua} + R_{tubo} + R_{placa}}$$

En la tabla siguiente se pueden observar los valores obtenidos para cada mes:

| Mes | T _{agua} (K) | T _{placa} (K) | R _{fluido calop} (K/W) | R _{tubo total} (K/W) | R _{placa} (K/W) | Q _{putil} (W) |
|-------------------|-----------------------|------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------------|
| Enero | 293,396 | 385,117 | 0,1158 | $3,967 \cdot 10^{-4}$ | 0,012 | 715,317 |
| Febrero | 296,907 | 391,039 | 0,1158 | $3,967 \cdot 10^{-4}$ | 0,012 | 734,123 |
| Marzo | 304,817 | 411,002 | 0,1158 | $3,967 \cdot 10^{-4}$ | 0,012 | 828,119 |
| Abril | 309,947 | 410,757 | 0,1158 | $3,967 \cdot 10^{-4}$ | 0,012 | 786,208 |
| Mayo | 314,410 | 408,882 | 0,1158 | $3,967 \cdot 10^{-4}$ | 0,012 | 736,775 |
| Junio | 322,953 | 412,727 | 0,1158 | $3,967 \cdot 10^{-4}$ | 0,012 | 700,132 |
| Julio | 329,494 | 424,959 | 0,1158 | $3,967 \cdot 10^{-4}$ | 0,012 | 744,514 |
| Agosto | 328,398 | 423,494 | 0,1158 | $3,967 \cdot 10^{-4}$ | 0,012 | 741,642 |
| Septiembre | 322,497 | 412,727 | 0,1158 | $3,967 \cdot 10^{-4}$ | 0,012 | 703,687 |
| Octubre | 309,259 | 398,319 | 0,1158 | $3,967 \cdot 10^{-4}$ | 0,012 | 694,569 |
| Noviembre | 301,395 | 385,707 | 0,1158 | $3,967 \cdot 10^{-4}$ | 0,012 | 657,543 |
| Diciembre | 294,262 | 393,448 | 0,1158 | $3,967 \cdot 10^{-4}$ | 0,012 | 773,538 |
| Media Año | 310,645 | 404,848 | 0,1158 | $3,967 \cdot 10^{-4}$ | 0,012 | 734,681 |

Tabla 4.10. Pérdidas en la rama útil.

Pérdidas en la rama superior

Para calcular las pérdidas en este tramo necesitamos hallar la temperatura del cielo, la radiación exterior del cristal, la resistencia de convección del aire en el exterior, la resistencia del cristal, la temperatura del cristal, la resistencia de convección natural en el aire interior y la resistencia de radiación interior entre placa y cristal.

Temperatura del cielo

La temperatura del cielo es un valor que se obtiene por correlaciones. La utilizada en esta instalación corresponde a la Ecuación Henderson – Thompson (Brokker et al. 1992):

$$\sigma \cdot T_{\text{cielo}}^4 = T_{\text{amb}}^4 \cdot \sigma \cdot \varepsilon_c$$

siendo:

- σ : Cte de Stefan-Boltzman con un valor de valor $5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (\text{W/m}^2\text{K}^4)$
- T_{amb} : temperatura ambiente.
- ε_c : emisividad del cielo, con un valor de 0,82.

por tanto:

$$T_{\text{cielo}} = \sqrt[4]{T_{\text{amb}}^4 \cdot \varepsilon_c}$$

Como la Temperatura Ambiente varía según el mes, la Temperatura del Cielo también lo hará. Los valores obtenidos del cálculo de la anterior correlación se pueden observar en la **Tabla 4.11**.

Temperatura del cristal

La Temperatura del cristal la calculamos a partir de la siguiente correlación proporcionada por el Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos:

$$T_{cristal} = 1,042 \cdot T_{amb} - 2,34$$

Como la Temperatura Ambiente varía según el mes, la Temperatura del Cristal también lo hará. Los valores obtenidos del cálculo de la anterior correlación se pueden observar en la siguiente tabla:

| Mes | T _{amb} (K) | T _{cielo} (K) | T _{cristal} (K) |
|------------|----------------------|------------------------|--------------------------|
| Enero | 283,00 | 269,302 | 292,546 |
| Febrero | 284,00 | 270,254 | 293,588 |
| Marzo | 287,00 | 273,109 | 296,714 |
| Abril | 289,00 | 275,012 | 298,798 |
| Mayo | 292,00 | 277,867 | 301,924 |
| Junio | 298,00 | 283,576 | 308,176 |
| Julio | 301,00 | 286,431 | 311,302 |
| Agosto | 301,00 | 286,431 | 311,302 |
| Septiembre | 298,00 | 283,576 | 308,176 |
| Octubre | 292,00 | 277,867 | 301,924 |
| Noviembre | 287,00 | 273,109 | 296,714 |
| Diciembre | 283,00 | 269,302 | 292,546 |
| Media Año | 291,25 | 277,153 | 301,143 |

Tabla.4.11. Temperatura del cielo y del cristal.

Resistencia de radiación exterior

La calculamos a partir de la correlación extraída del artículo de referencia: **Rodríguez M.C., Rodríguez P.A., Salgado R., Venegas M., Lecuona A.; Transferencia de calor en colectores solares planos, considerando velocidad y dirección del viento. Proceedings XIV Congreso Ibérico y IX Congreso Iberoamericano de Energía Solar. Vigo, Galicia España 2008, pp 407-412 ISBN978-84-612-4470-6**, despreciando la radiación entre la pared trasera y el suelo y pretil de la cubierta, debida a la pequeña diferencia de temperatura existente, ya que ambas son próximas a la temperatura ambiente.

$$R_{radE} = \frac{1}{\varepsilon_{cristal} \cdot \sigma \cdot A \cdot \left[(T_{cristal})^2 + (T_{cielo})^2 \right] \cdot (T_{cristal} + T_{cielo})}$$

siendo:

- σ : Constante de Stefan-Boltzman, con un valor de $5,67 \cdot 10^{-8}$ (W/m²·K⁴)
- A : Superficie de absorción útil (m²)
- $\varepsilon_{cristal}$: Emisividad del cristal, con un valor de 0,1.

Las temperaturas del cristal y del cielo son las calculadas en los apartados anteriores.

En la siguiente tabla se pueden observar los valores mensuales obtenidos.

| Mes | $R_{\text{rad.E}} \text{ (K/W)}$ |
|------------|----------------------------------|
| Enero | 0,863 |
| Febrero | 0,854 |
| Marzo | 0,827 |
| Abril | 0,810 |
| Mayo | 0,786 |
| Junio | 0,739 |
| Julio | 0,717 |
| Agosto | 0,717 |
| Septiembre | 0,739 |
| Octubre | 0,786 |
| Noviembre | 0,827 |
| Diciembre | 0,863 |
| Media Año | 0,794 |

Tabla 4.12. Resistencia de Radiación Exterior.

Resistencia del cristal

La cubierta transparente está formada por vidrio templado de 4 (mm) de espesor bajo en hierro.

La conductividad térmica (k) del vidrio es 0,8 (W/m·K), por lo que la Resistencia del cristal será la misma para cada mes y tendrá un valor de:

$$R_{\text{cristal}} = \frac{e}{k \cdot A} = \frac{0,004 \cdot (m)}{0,8 \cdot \left(\frac{W}{m \cdot K} \right) \cdot 2,3 \cdot (m^2)} = 2,174 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{K}{W} \right)$$

Resistencia de Radiación entre la placa y el cristal

Esta resistencia se calcula a través de la siguiente correlación extraída del artículo de referencia: **Rodríguez M.C., Rodríguez P.A., Salgado R., Venegas M., Lecuona A.; Transferencia de calor en colectores solares planos, considerando velocidad y dirección del viento. Proceedings XIV Congreso Ibérico y IX Congreso Iberoamericano de Energía Solar. Vigo, Galicia España 2008, pp 407-412 ISBN978-84-612-4470-6:**

$$R_{radI} = \frac{(\varepsilon_{Ircristal} + \varepsilon_{IrpIaca} - \varepsilon_{Ircristal} \cdot \varepsilon_{IrpIaca})}{\varepsilon_{Ircristal} \cdot \varepsilon_{IrpIaca} \sigma \cdot A \cdot [(T_{placa})^2 + (T_{cristal})^2] \cdot (T_{placa} + T_{cristal})}$$

siendo:

- σ : Constante de Stefan-Boltzman= $5,67 \cdot 10^{-8}$ (W/m²·K⁴)
- A : Superficie de absorción útil (m²).
- $\varepsilon_{cristal}$: Emisividad del cristal con un valor de 0,1.
- ε_{placa} : Emisividad del cristal con un valor de 0,06.

Las temperaturas del cristal y de la placa son las calculadas en los apartados anteriores.

En la siguiente tabla se pueden observar los valores mensuales obtenidos.

| Mes | $R_{radl} \text{ (K/W)}$ |
|------------|--------------------------|
| Enero | 1,242 |
| Febrero | 1,202 |
| Marzo | 1,082 |
| Abril | 1,075 |
| Mayo | 1,072 |
| Junio | 1,029 |
| Julio | 0,963 |
| Agosto | 0,970 |
| Septiembre | 1,029 |
| Octubre | 1,125 |
| Noviembre | 1,218 |
| Diciembre | 1,194 |
| Media Año | 1,100 |

Tabla 4.13. Resistencia de Radiación Placa-Cristal.

Resistencia de convección exterior del aire

▪ Datos placa:

$$A_{placa} = 2,30 \cdot (m^2) \quad L_{caracteristica.placa} = 1,213 \cdot (m)$$

▪ Datos fluido (aire):

La velocidad del viento la hemos obtenido de Meteored y varía según el mes. Sus valores mensuales se pueden observar en la **Tabla 4.3**.

El resto de sus propiedades son:

$$\rho_{aire} = 1,185 \cdot (kg/m^3)$$

$$C_{paire} = 1004,67 \cdot (J/Kg \cdot K)$$

$$\mu_{aire} = 1,795 \cdot 10^{-5} \cdot (Pa \cdot s)$$

$$\nu_{aire} = 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot (Pa \cdot s)$$

$$k_{aire} = 0,02 \cdot (W/m \cdot K)$$

$$Pr = \frac{\nu_{aire} \cdot C_{paire}}{k_{aire}} = 0,75$$

- Ecuaciones y cálculos:

- Cálculo del número de Reynolds:

Como la velocidad del viento es variable según el mes obtendremos un Reynolds diferente para cada mes.

$$Re_{aire} = \frac{\rho_{aire} \cdot v_{viento} \cdot L}{\mu_{aire}}$$

- Cálculo del número de Nusselt:

Para calcularla usamos las correlaciones extraída del artículo de referencia:

**Rodríguez M.C., Rodríguez P.A., Salgado R., Venegas M., Lecuona A.;
Transferencia de calor en colectores solares planos, considerando
velocidad y dirección del viento. Proceedings XIV Congreso Ibérico y IX
Congreso Iberoamericano de Energía Solar. Vigo, Galicia España 2008, pp
407-412 ISBN978-84-612-4470-6**, por lo que el Nusselt es:

$$Nu = 0,105 \cdot Re^{0,646} \cdot Pr^{1/3}$$

- Calculo del coeficiente de convección h:

$$h_{conv.E} \cdot (W/m^2 \cdot K) = \frac{k_{aire} \cdot Nu}{L}$$

- Cálculo de la resistencia de convección exterior:

$$R_{conv.E} (K/W) = \frac{1}{h \cdot A}$$

- Valores mensuales obtenidos de los cálculos realizados:

| Mes | Velocidad del viento (m/s) | Reynolds | Nusselt | h (W/m ² ·K) | R _{conv.E.} (K/W) |
|------------|----------------------------|------------|---------|-------------------------|----------------------------|
| Enero | 1,96 | 156953,415 | 216,984 | 3,578 | 0,122 |
| Febrero | 2,19 | 175371,418 | 233,108 | 3,700 | 0,118 |
| Marzo | 3,10 | 248242,646 | 291,776 | 4,631 | 0,094 |
| Abril | 2,88 | 230625,426 | 278,226 | 4,416 | 0,098 |
| Mayo | 2,49 | 199394,900 | 253,265 | 4,020 | 0,108 |
| Junio | 2,20 | 176172,201 | 233,795 | 3,711 | 0,117 |
| Julio | 2,60 | 208203,510 | 260,437 | 4,134 | 0,105 |
| Agosto | 2,52 | 201797,248 | 255,232 | 4,051 | 0,107 |
| Septiembre | 2,20 | 176172,201 | 233,795 | 3,711 | 0,117 |
| Octubre | 1,94 | 155351,850 | 215,551 | 3,421 | 0,127 |
| Noviembre | 1,70 | 136133,064 | 197,925 | 3,142 | 0,138 |
| Diciembre | 2,41 | 192988,638 | 247,978 | 3,936 | 0,110 |
| Media Año | 2,35 | 188117,210 | 243,173 | 3,871 | 0,114 |

Tabla 4.14. Resistencia de convección exterior de la placa.

Resistencia de convección interior

La convección natural en el aire interior del colector se va a asemejar al flujo con cavidad rectangular inclinada. La correlación empírica que utilizamos para calcular el **Nu_i**, será la extraída del artículo de referencia: **Rodríguez M.C., Rodríguez P.A., Salgado R., Venegas M., Lecuona A.; Transferencia de calor en colectores solares planos, considerando velocidad y dirección del viento. Proceedings XIV Congreso Ibérico y IX Congreso Iberoamericano de Energía Solar. Vigo, Galicia España 2008, pp 407-412 ISBN978-84-612-4470-6.**

- **Datos placa:**

$$A_{placa} = 2,3 \cdot (m^2) \quad L_{placa-cristal} = 2,68 \cdot 10^{-2} \cdot (m) \quad L_{característica} = 2,68 \cdot 10^{-2} \cdot (m)$$

- **Datos fluido (aire):**

La velocidad del viento la hemos obtenido de Meteored y varía según el mes. Sus valores mensuales se pueden observar en la **Tabla 4.3**.

El resto de sus propiedades son:

$$\rho_{aire} = 1,185 \cdot (kg / m^3)$$

$$C_{paire} = 1004,67 \cdot (J / Kg \cdot K)$$

$$\mu_{aire} = 1,795 \cdot 10^{-5} \cdot (Pa \cdot s)$$

$$\nu_{aire} = 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot (Pa \cdot s)$$

$$k_{aire} = 0,02 \cdot (W / m \cdot K)$$

$$Pr = \frac{\nu_{aire} \cdot C_{paire}}{k_{aire}} = 0,75$$

- **Otros datos:**

$$g = 9,81 \cdot (m / s^2)$$

- **Ecuaciones y cálculos:**

- Cálculo del Coeficiente de Pasividad Térmica (β):

Como las temperaturas del cristal y de la placa varían según el mes, obtendremos un β diferente para cada mes.

$$\beta = \frac{1}{\left(\frac{T_{cristal} + T_{placa}}{2} \right)}$$

- Cálculo del número de Grashof (Gr):

Como las temperaturas del cristal y de la placa, y el coeficiente de pasividad térmico varían según el mes, obtendremos un **Gr** diferente para cada mes.

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_{placa} - T_{cristal}) \cdot L_{placa-cristal}^3}{(\nu_{aire})^2}$$

- Cálculo del número de Rayleigh (Ra_I):

Como el número de Grashof varía según el mes, obtendremos un **Ra_I** diferente para cada mes.

$$Ra_I = Gr \cdot Pr$$

- Cálculo del número de Nusselt:

Para calcularla usamos la correlación proporcionada por el Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos, por lo que el Nusselt es:

$$Nu = 4,328 \cdot 10^{-10} \cdot (Ra_I)^2 - 1,478 \cdot 10^{-6} \cdot Ra_I + 1,001$$

- Cálculo del coeficiente de convección $h_{conv,I}$:

$$h_{conv,I} \cdot (W/m^2 \cdot K) = \frac{k_{aire} \cdot Nu}{L}$$

- Cálculo de la resistencia de convección interior:

$$R_{conv,I} (K/W) = \frac{1}{h \cdot A}$$



- Valores mensuales obtenidos de los cálculos realizados:

| Mes | β | Gr | Ra_i | Nusselt cristal-placa | $h_{\text{conv},i}$ (W/m ² ·K) | $R_{\text{conv},i}$ (K/W) |
|------------|-----------------------|------------|------------|--------------------------|---|---------------------------|
| Enero | $2,991 \cdot 10^{-3}$ | 214514,726 | 160886,045 | 11,966 | 8,930 | $4,869 \cdot 10^{-2}$ |
| Febrero | $2,962 \cdot 10^{-3}$ | 223527,542 | 167645,657 | 12,917 | 9,640 | $4,510 \cdot 10^{-2}$ |
| Marzo | $2,871 \cdot 10^{-3}$ | 253592,977 | 190194,732 | 16,376 | 12,221 | $3,558 \cdot 10^{-2}$ |
| Abril | $2,862 \cdot 10^{-3}$ | 247782,997 | 185837,248 | 15,673 | 11,696 | $3,717 \cdot 10^{-2}$ |
| Mayo | $2,855 \cdot 10^{-3}$ | 236298,122 | 177223,592 | 14,333 | 10,696 | $4,065 \cdot 10^{-2}$ |
| Junio | $2,814 \cdot 10^{-3}$ | 227744,453 | 170808,340 | 13,376 | 9,982 | $4,356 \cdot 10^{-2}$ |
| Julio | $2,758 \cdot 10^{-3}$ | 242415,871 | 181811,903 | 15,039 | 11,223 | $3,874 \cdot 10^{-2}$ |
| Agosto | $2,763 \cdot 10^{-3}$ | 239768,475 | 179826,356 | 14,731 | 10,993 | $3,955 \cdot 10^{-2}$ |
| Septiembre | $2,814 \cdot 10^{-3}$ | 227744,453 | 170808,340 | 13,376 | 9,982 | $4,356 \cdot 10^{-2}$ |
| Octubre | $2,895 \cdot 10^{-3}$ | 216173,650 | 162130,237 | 12,138 | 9,058 | $4,800 \cdot 10^{-2}$ |
| Noviembre | $2,969 \cdot 10^{-3}$ | 204786,555 | 153589,917 | 10,984 | 8,197 | $5,304 \cdot 10^{-2}$ |
| Diciembre | $2,958 \cdot 10^{-3}$ | 230980,321 | 173235,240 | 13,733 | 10,249 | $4,242 \cdot 10^{-2}$ |
| Media Año | $2,876 \cdot 10^{-3}$ | 230444,178 | 172833,134 | 13,720 | 10,239 | $4,301 \cdot 10^{-2}$ |

Tabla 4.15. Resistencia de convección interior.

Pérdidas en la rama superior:

Una vez calculados todas las Temperaturas y Resistencias, podemos pasar a calcular el flujo de calor que circula en la rama superior, siendo este la suma del flujo que circula entre la temperatura del cristal y la temperatura del cielo más el flujo que circula entre la temperatura del cristal y la temperatura ambiente.

$$Q_{Psup} = Q_{Psup1} + Q_{Psup2} = \frac{T_{cristal} - T_{cielo}}{R_{rad.E}} + \frac{T_{cristal} - T_{amb}}{R_{conv.E}}$$

En la siguiente tabla se pueden observar los valores mensuales obtenidos.

| Mes | Q_{Psup1} (W) | Q_{Psup2} (W) | Q_{Psup} (W) |
|------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Enero | 26,927 | 78,550 | 105,477 |
| Febrero | 27,321 | 81,597 | 108,917 |
| Marzo | 28,527 | 103,475 | 132,002 |
| Abril | 29,353 | 99,523 | 128,876 |
| Mayo | 30,626 | 91,759 | 122,385 |
| Junio | 33,295 | 86,856 | 120,151 |
| Julio | 34,693 | 97,952 | 132,645 |
| Agosto | 34,693 | 95,994 | 130,687 |
| Septiembre | 33,295 | 86,856 | 120,151 |
| Octubre | 30,626 | 78,095 | 108,721 |
| Noviembre | 28,527 | 70,192 | 98,719 |
| Diciembre | 26,927 | 86,421 | 113,348 |
| Media Año | 30,717 | 88,974 | 119,691 |

Tabla 4.16. Pérdidas en la rama superior.

Calor perdido

Para nuestros cálculos hemos tomado un sólo colector, por lo que debemos ajustar nuestros cálculos teniendo en cuenta que nuestra instalación consta de 4 colectores. Por tanto ya podemos obtener la ecuación del calor perdido en cada colector.

- **Calor perdido en un colector:**

$$Q_{perdidas} = (Q_{p\ inf} + Q_{p\ superior}) \cdot (W)$$

- **Calor perdido en la batería de colectores:**

$$Q_{pc.total} = (Q_{perdidas}) \cdot (W) \cdot 4 \cdot (colectores)$$

- **Calor perdido en la batería de colectores:**

| Mes | Q _{pc.total} |
|------------|-----------------------|
| Enero | 1004,095 |
| Febrero | 1046,995 |
| Marzo | 1239,792 |
| Abril | 1213,698 |
| Mayo | 1158,379 |
| Junio | 1135,882 |
| Julio | 1240,363 |
| Agosto | 1223,824 |
| Septiembre | 1135,882 |
| Octubre | 1040,929 |
| Noviembre | 956,295 |
| Diciembre | 1085,105 |

| | |
|-----------|----------|
| Media Año | 1123,437 |
|-----------|----------|

Tabla 4.17. Calor total perdido.

Resumen de valores obtenidos

Resumen de Resistencias:

| Mes | R_{radE} (K/W) | $R_{cristal}$ (K/W) | $R_{aislante}$ (K/W) | R_{placa} (K/W) | R_{caja} (K/W) | R_{tubo} (K/W) |
|------------|------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|
| Enero | 0,863 | $2,174 \cdot 10^{-3}$ | 0,673 | 0,012 | $3,181 \cdot 10^{-6}$ | $3,967 \cdot 10^{-4}$ |
| Febrero | 0,854 | $2,174 \cdot 10^{-3}$ | 0,673 | 0,012 | $3,181 \cdot 10^{-6}$ | $3,967 \cdot 10^{-4}$ |
| Marzo | 0,827 | $2,174 \cdot 10^{-3}$ | 0,673 | 0,012 | $3,181 \cdot 10^{-6}$ | $3,967 \cdot 10^{-4}$ |
| Abril | 0,810 | $2,174 \cdot 10^{-3}$ | 0,673 | 0,012 | $3,181 \cdot 10^{-6}$ | $3,967 \cdot 10^{-4}$ |
| Mayo | 0,786 | $2,174 \cdot 10^{-3}$ | 0,673 | 0,012 | $3,181 \cdot 10^{-6}$ | $3,967 \cdot 10^{-4}$ |
| Junio | 0,739 | $2,174 \cdot 10^{-3}$ | 0,673 | 0,012 | $3,181 \cdot 10^{-6}$ | $3,967 \cdot 10^{-4}$ |
| Julio | 0,717 | $2,174 \cdot 10^{-3}$ | 0,673 | 0,012 | $3,181 \cdot 10^{-6}$ | $3,967 \cdot 10^{-4}$ |
| Agosto | 0,717 | $2,174 \cdot 10^{-3}$ | 0,673 | 0,012 | $3,181 \cdot 10^{-6}$ | $3,967 \cdot 10^{-4}$ |
| Septiembre | 0,739 | $2,174 \cdot 10^{-3}$ | 0,673 | 0,012 | $3,181 \cdot 10^{-6}$ | $3,967 \cdot 10^{-4}$ |
| Octubre | 0,786 | $2,174 \cdot 10^{-3}$ | 0,673 | 0,012 | $3,181 \cdot 10^{-6}$ | $3,967 \cdot 10^{-4}$ |
| Noviembre | 0,827 | $2,174 \cdot 10^{-3}$ | 0,673 | 0,012 | $3,181 \cdot 10^{-6}$ | $3,967 \cdot 10^{-4}$ |
| Diciembre | 0,863 | $2,174 \cdot 10^{-3}$ | 0,673 | 0,012 | $3,181 \cdot 10^{-6}$ | $3,967 \cdot 10^{-4}$ |
| Media Año | 0,794 | $2,174 \cdot 10^{-3}$ | 0,673 | 0,012 | $3,181 \cdot 10^{-6}$ | $3,967 \cdot 10^{-4}$ |

Tabla 4.18.a. Resumen Resistencias.

| Mes | R_{convI} (K/W) | R_{radI} (K/W) | R_{convE} (K/W) | R_{conv} (K/W) | R_{agua} (K/W) |
|------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|
| Enero | 0,049 | 1,242 | 0,122 | 0,029 | 0,116 |
| Febrero | 0,045 | 1,202 | 0,118 | 0,027 | 0,116 |
| Marzo | 0,036 | 1,082 | 0,094 | 0,024 | 0,116 |
| Abril | 0,037 | 1,075 | 0,098 | 0,025 | 0,116 |
| Mayo | 0,041 | 1,072 | 0,108 | 0,026 | 0,116 |
| Junio | 0,044 | 1,029 | 0,117 | 0,027 | 0,116 |
| Julio | 0,039 | 0,963 | 0,105 | 0,026 | 0,116 |
| Agosto | 0,040 | 0,970 | 0,107 | 0,026 | 0,116 |
| Septiembre | 0,044 | 1,029 | 0,117 | 0,027 | 0,116 |
| Octubre | 0,048 | 1,125 | 0,127 | 0,029 | 0,116 |
| Noviembre | 0,053 | 1,218 | 0,138 | 0,030 | 0,116 |
| Diciembre | 0,042 | 1,194 | 0,110 | 0,026 | 0,116 |
| Media Año | 0,042 | 1,100 | 0,114 | 0,027 | 0,116 |

Tabla 4.18.b. Resumen Resistencias.

**Resumen de Temperaturas:**

| Mes | T_{amb} (K) | T_{cielo} (K) | $T_{cristal}$ (K) | T_{caja} (K) | T_{agua} (K) | T_{placa} (K) |
|------------|---------------|-----------------|-------------------|----------------|----------------|-----------------|
| Enero | 283 | 269,302 | 292,546 | 287,181 | 293,396 | 385,117 |
| Febrero | 284 | 270,254 | 293,588 | 288,202 | 296,907 | 391,039 |
| Marzo | 287 | 273,109 | 296,714 | 291,265 | 304,817 | 411,002 |
| Abril | 289 | 275,012 | 298,798 | 293,307 | 309,947 | 410,757 |
| Mayo | 292 | 277,867 | 301,924 | 296,370 | 314,410 | 408,882 |
| Junio | 298 | 283,576 | 308,176 | 302,496 | 322,953 | 412,727 |
| Julio | 301 | 286,431 | 311,302 | 305,559 | 329,494 | 424,959 |
| Agosto | 301 | 286,431 | 311,302 | 305,559 | 328,398 | 423,494 |
| Septiembre | 298 | 283,576 | 308,176 | 302,496 | 322,497 | 412,727 |
| Octubre | 292 | 277,867 | 301,924 | 296,370 | 309,259 | 398,319 |
| Noviembre | 287 | 273,109 | 296,714 | 291,265 | 301,395 | 385,707 |
| Diciembre | 283 | 269,302 | 292,546 | 287,181 | 294,262 | 393,448 |
| Media Año | 291,25 | 277,153 | 301,143 | 295,604 | 310,645 | 404,848 |

Tabla 4.19. Resumen Temperaturas.

Resumen de las pérdidas totales:

| Mes | Q_{pinf} (W) | Q_{psup} (W) | Q_{ptotal} (W) |
|------------|----------------|----------------|------------------|
| Enero | 145,547 | 105,477 | 251,024 |
| Febrero | 152,832 | 108,917 | 261,749 |
| Marzo | 177,946 | 132,002 | 309,948 |
| Abril | 174,549 | 128,876 | 303,425 |
| Mayo | 167,210 | 122,385 | 289,595 |
| Junio | 163,819 | 120,151 | 283,970 |
| Julio | 177,446 | 132,645 | 310,091 |
| Agosto | 175,269 | 130,687 | 305,956 |
| Septiembre | 163,819 | 120,151 | 283,970 |
| Octubre | 151,511 | 108,721 | 260,232 |
| Noviembre | 140,355 | 98,719 | 239,074 |
| Diciembre | 157,928 | 113,348 | 271,276 |
| Media Año | 162,352 | 119,691 | 280,859 |

Tabla 4.20. Resumen Pérdidas.

Ecuaciones obtenidas

De este modo el balance de energía en el colector queda de la siguiente manera:

$$\dot{m}_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{co} - T_{ci}) = I \cdot A \cdot a_0 - Q_{pc}$$

A continuación se muestran las variables y ecuaciones de nuestro sistema con los cambios pertinentes:

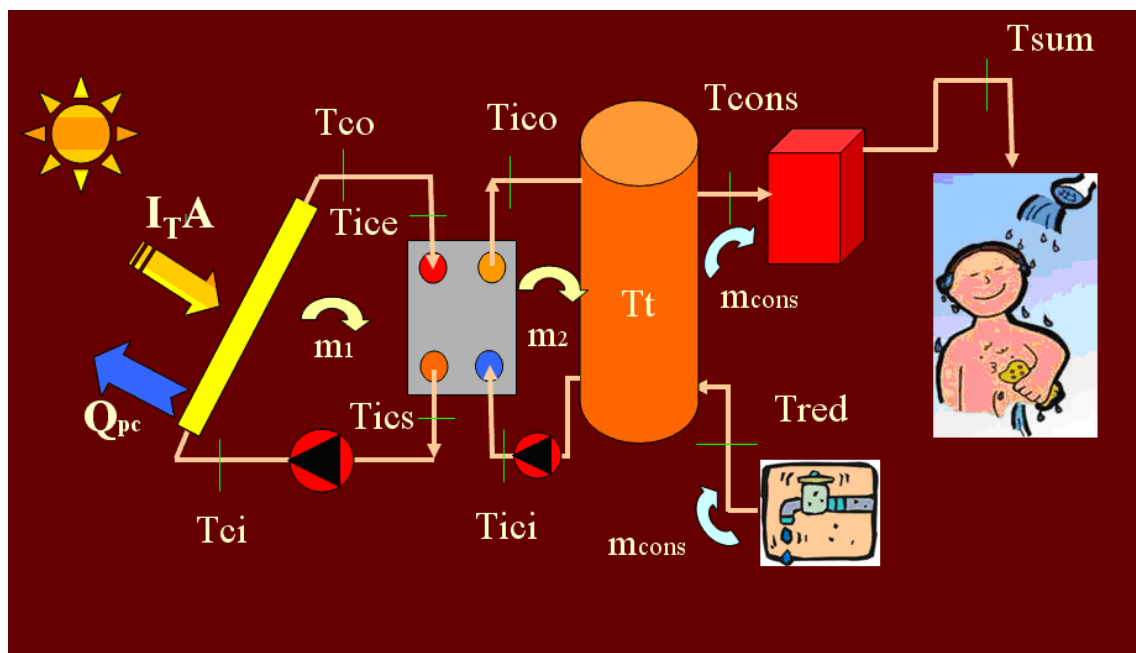


Figura 4.25. Sistema de ACS sobre el que se realizarán los balances energéticos.



Como veremos a continuación, tenemos un sistema de 9 ecuaciones con 9 incógnitas, el cual queda perfectamente definido siguiendo los siguientes pasos:

- Lo primero que haremos es enumerar nuestros **datos de partida**:

Circuito primario:

- Radiación sobre el plano horizontal. Irradiación, I (varía según el mes).
- Coeficiente de rendimiento del colector η_c (a_0).
- Densidad del fluido caloportador (ρ_1).
- Calor específico del fluido caloportador (C_{P1}).
- Caudal másico del fluido caloportador.
- Temperatura del ambiente, T_o (varía según el mes).
- Área de la superficie captadora (A).

Circuito secundario:

- Caudal másico de consumo (varía según el mes).
- Caudal másico del fluido del circuito secundario.
- Densidad del agua de consumo (ρ_{cons}).
- Calor específico del agua de consumo (C_{pcons}).
- Densidad del fluido del circuito secundario (ρ_2).
- Calor específico del fluido del circuito secundario (C_{P2}).
- Temperatura de agua de red, T_{red} (varía según el mes).

- A continuación enumeraremos las **incógnitas**:
 - Contribución solar mínima (f), (varía según el mes).

Circuito primario:

- Temperatura de entrada a colectores (T_{ci}).
- Temperatura de salida de colectores (T_{co}).
- Temperatura de entrada al intercambiador (T_{ice}).
- Temperatura de salida al intercambiador (T_{ics}).

Circuito secundario:

- Temperatura de entrada al intercambiador (T_{ici}).
- Temperatura de salida del intercambiador (T_{ico}).
- Temperatura media del Tanque/Acumulador (T_t).
- Temperatura del agua de consumo (T_{cons}).

- El siguiente paso es plantear el sistema de **ecuaciones**:

– Balance de energía en los colectores solares:

$$\dot{m}_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{co} - T_{ci}) = I \cdot A \cdot a_0 - Q_{pc}$$

– Balance de energía en el intercambiador de calor:

$$\dot{m}_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{ice} - T_{ics}) = \dot{m}_2 \cdot C_{p2} \cdot (T_{ico} - T_{ici})$$

– **Eficiencia en el intercambiador de calor:**

$$\varepsilon_{ic} = \frac{m_2 \cdot C_{p2} \cdot (T_{ico} - T_{ici})}{C_{\min} \cdot (T_{ice} - T_{ici})}$$

siendo: $C_{\min} = \min(m_1 \cdot C_{p1}, m_2 \cdot C_{p2})$ y $\varepsilon_{ic} = 0,8$.

– **Balance de energía en el acumulador:**

$$m_2 \cdot C_{p2} \cdot (T_{ico} - T_{ici}) = m_{cons} \cdot C_{cons} \cdot (T_{cons} - T_{red})$$

– **Contribución solar mínima anual (f):**

$$f = \frac{m_{cons} \cdot C_{pcons} \cdot (T_{cons} - T_{red})}{m_{cons} \cdot C_{pcons} \cdot (T_{sum} - T_{red})} = \frac{(T_{cons} - T_{red})}{(T_{sum} - T_{red})}$$

– **Grado de estratificación del Acumulador:**

$$T_t = \frac{T_{ico} \cdot m_2 + T_{red} \cdot m_{cons}}{m_2 + m_{cons}}$$

Aplicando ahora un caso con estratificación ($0 \leq E_t \leq 1$).

$$E_t = \frac{T_{cons} - T_t}{T_{ico} - T_t}$$

para $E_t = 0,5$.

– **Calor perdido en el tramo de ida:**

$$\dot{m}_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{ico} - T_{ics}) = UA_{ida} \cdot \frac{(T_{co} - T_o) - (T_{ice} - T_o)}{\ln\left(\frac{T_{co} - T_o}{T_{ice} - T_o}\right)}$$

– **Calor perdido en el tramo de vuelta:**

$$\dot{m}_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{ico} - T_{ics}) = UA_{ida} \cdot \frac{(T_{ics} - T_o) - (T_{ci} - T_o)}{\ln\left(\frac{T_{ics} - T_o}{T_{ci} - T_o}\right)}$$

Los valores correspondientes a los caudales másicos siguen siendo los mismos:

$$\left(\frac{\dot{m}_1}{m^2}\right) = \left(\frac{\dot{m}_2}{m^2}\right) = 2 \cdot 10^{-2} \left(\frac{Kg}{s \cdot m^2}\right)$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = 2 \cdot 10^{-2} \cdot 8,64 = 0,173 \cdot \left(\frac{Kg}{s}\right)$$



Así, obtenemos los valores de las distintas temperaturas buscadas para cada mes, los cuales se pueden observar en las siguientes tablas:

| Mes | T_{ci} (K) | T_{co} (K) | T_{ici} (K) | T_{ico} (K) | T_{cons} (K) | T_t (K) | T_{ice} (K) | T_{ics} (K) |
|------------|--------------|--------------|---------------|---------------|----------------|-----------|---------------|---------------|
| Enero | 290,857 | 292,428 | 290,468 | 291,898 | 291,222 | 290,547 | 292,426 | 290,859 |
| Febrero | 299,709 | 301,96 | 299,153 | 301,2 | 300,225 | 299,251 | 301,955 | 299,713 |
| Marzo | 313,343 | 316,759 | 312,503 | 315,605 | 314,126 | 312,646 | 316,749 | 313,352 |
| Abril | 324,124 | 328,507 | 323,045 | 327,026 | 325,128 | 323,229 | 328,494 | 324,135 |
| Mayo | 332,088 | 336,989 | 330,881 | 335,334 | 333,206 | 331,078 | 336,976 | 332,1 |
| Junio | 340,83 | 346,362 | 339,465 | 344,494 | 342,088 | 339,681 | 346,349 | 340,842 |
| Julio | 360,316 | 366,897 | 358,698 | 364,674 | 361,801 | 358,928 | 366,877 | 360,334 |
| Agosto | 367,924 | 374,205 | 366,384 | 372,082 | 369,327 | 366,572 | 374,183 | 367,944 |
| Septiembre | 342,929 | 348,483 | 341,559 | 346,607 | 344,187 | 341,766 | 348,469 | 342,941 |
| Octubre | 319,84 | 323,39 | 318,963 | 322,192 | 320,645 | 319,099 | 323,382 | 319,847 |
| Noviembre | 305,289 | 308,118 | 304,588 | 307,163 | 305,942 | 304,72 | 308,113 | 305,293 |
| Diciembre | 291,445 | 293,15 | 291,022 | 292,574 | 291,842 | 291,11 | 293,147 | 291,447 |

Tabla 3.21.a. Temperaturas calculadas con el programa Mathcad en K.

| Mes | T_{ci} (°C) | T_{co} (°C) | T_{ici} (°C) | T_{ico} (°C) | T_{cons} (°C) | T_t (°C) | T_{ice} (°C) | T_{ics} (°C) |
|------------|---------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|------------|----------------|----------------|
| Enero | 17,857 | 19,428 | 17,468 | 18,898 | 18,222 | 17,547 | 19,426 | 17,859 |
| Febrero | 26,709 | 28,96 | 26,153 | 28,2 | 27,225 | 26,251 | 28,955 | 26,713 |
| Marzo | 40,343 | 43,759 | 39,503 | 42,605 | 41,126 | 39,646 | 43,749 | 40,352 |
| Abril | 51,124 | 55,507 | 50,045 | 54,026 | 52,128 | 50,229 | 55,494 | 51,135 |
| Mayo | 59,088 | 63,989 | 57,881 | 62,334 | 60,206 | 58,078 | 63,976 | 59,1 |
| Junio | 67,83 | 73,362 | 66,465 | 71,494 | 69,088 | 66,681 | 73,349 | 67,842 |
| Julio | 87,316 | 93,897 | 85,698 | 91,674 | 88,801 | 85,928 | 93,877 | 87,334 |
| Agosto | 94,924 | 101,205 | 93,384 | 99,082 | 96,327 | 93,572 | 101,183 | 94,944 |
| Septiembre | 69,929 | 75,483 | 68,559 | 73,607 | 71,187 | 68,766 | 75,469 | 69,941 |
| Octubre | 46,84 | 50,39 | 45,963 | 49,192 | 47,645 | 46,099 | 50,382 | 46,847 |
| Noviembre | 32,289 | 35,118 | 31,588 | 34,163 | 32,942 | 31,72 | 35,113 | 32,293 |
| Diciembre | 18,445 | 20,15 | 18,022 | 19,574 | 18,842 | 18,11 | 20,147 | 18,447 |

Tabla 3.21.b. Temperaturas calculadas con el programa Mathcad en °C.

Los resultados obtenidos de la fracción solar calculada sin corregir corregidos son los que se muestran en la siguiente tabla:

| | f | | | |
|-------------------|---------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| | sin corregir | | corregido | |
| Mes | previa | con pérdidas | previa | con pérdidas |
| Enero | 0,347 | 0,226 | 0,347 | 0,226 |
| Febrero | 0,482 | 0,382 | 0,482 | 0,382 |
| Marzo | 0,710 | 0,630 | 0,710 | 0,630 |
| Abril | 0,864 | 0,839 | 0,864 | 0,839 |
| Mayo | 0,982 | 1,004 | 0,982 | 1,000 |
| Junio | 1,170 | 1,193 | 1,000 | 1,000 |
| Julio | 1,475 | 1,626 | 1,000 | 1,000 |
| Agosto | 1,543 | 1,773 | 1,000 | 1,000 |
| Septiembre | 1,174 | 1,233 | 1,000 | 1,000 |
| Octubre | 0,785 | 0,748 | 0,785 | 0,748 |
| Noviembre | 0,538 | 0,469 | 0,538 | 0,469 |
| Diciembre | 0,366 | 0,238 | 0,366 | 0,238 |
| Anual | 0,870 | 0,864 | 0,756 | 0,711 |

Tabla 4.21.c. Fracciones solares previa y con pérdidas.

En la Tabla anterior podemos observar como han variado los valores de la cobertura solar mensualmente. Observamos como en los meses de invierno, la cobertura solar disminuye por las pérdidas de la instalación y sin embargo a partir de Mayo, y durante todo el periodo estival, la cobertura solar mensual aumenta frente a la cobertura calculada previamente, en la que no teníamos en cuenta las pérdidas de temperatura de la instalación, ni el efecto del viento sobre las mismas.

Así, podemos observar que las variaciones de las temperaturas causadas por las pérdidas térmicas de la instalación, han provocado que se dispare el exceso de energía en los meses de verano y que disminuya la cobertura solar, y por tanto aumente la demanda de Energía convencional en los meses de invierno.

Por todo esto, y debido la situación en la que nos encontramos decidimos cubrir la Cobertura Solar mínima del 70% de nuestra instalación, como indica el Código Técnico de la Edificación, pero para ello debemos sobrepasar el 110% de la cobertura, superando los límites establecidos por el CTE, y por lo tanto obviando esta restricción del mismo. Además, también debemos comentar que el Código Técnico de la Edificación también indica que en no más de tres meses seguidos se debe tener más del 100% de la Cobertura Solar de la instalación, y en nuestro caso lo tenemos durante 5 meses. Estos meses son Mayo, Junio, Julio, Agosto y Septiembre, que son los meses del periodo estival en los que se dispara la cobertura debido al aumento de las Temperaturas obtenidas en la instalación una vez tenidas en cuenta las pérdidas de la misma. El mes de Mayo se obtiene un 0,4% de exceso que se podría obviar el exceso, pero no lo vamos a hacer ya que de todas formas no cumplimos con lo estipulado en el Código Técnico de la Edificación.

Observando los datos que muestra la tabla podemos ver que el mes más conflictivo es el mes de Agosto, resultando este dato previsible ya que es el mes con más Irradiación y menos consumo estimado.

El siguiente gráfico muestra la contribución solar térmica calculada, incluyendo las pérdidas térmicas:

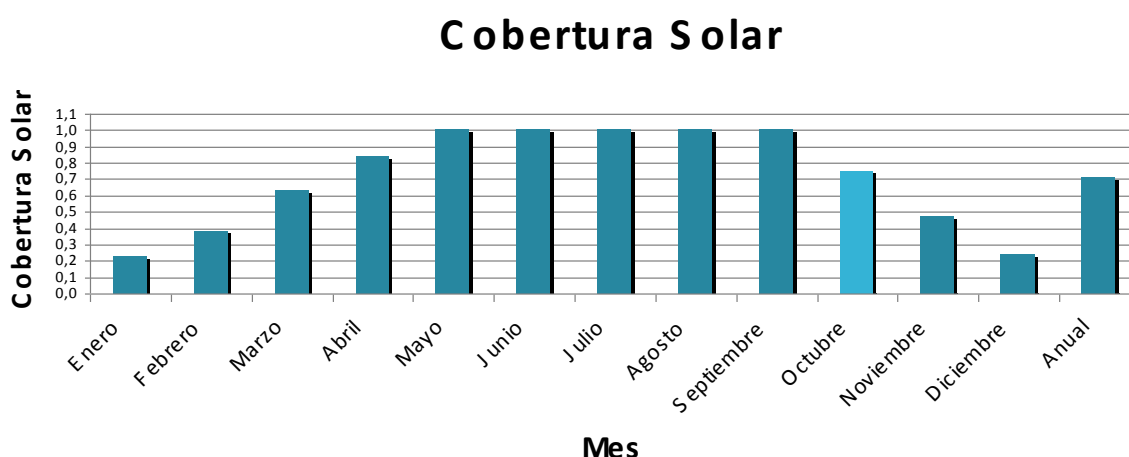


Figura 4.27. Contribución Solar teniendo en cuenta las pérdidas de temperatura.

De este modo, observando la Figura anterior observamos mensual y anualmente, la Energía Solar aprovechable en (MJ) de nuestra instalación, sin tener en cuenta los excesos de los meses estivales, en los que se considerará simplemente la demanda de energética térmica concreta para cada mes.

En la siguiente figura podemos comparar gráficamente la contribución solar mensual de la instalación diseñada frente a la demanda energética de la instalación.

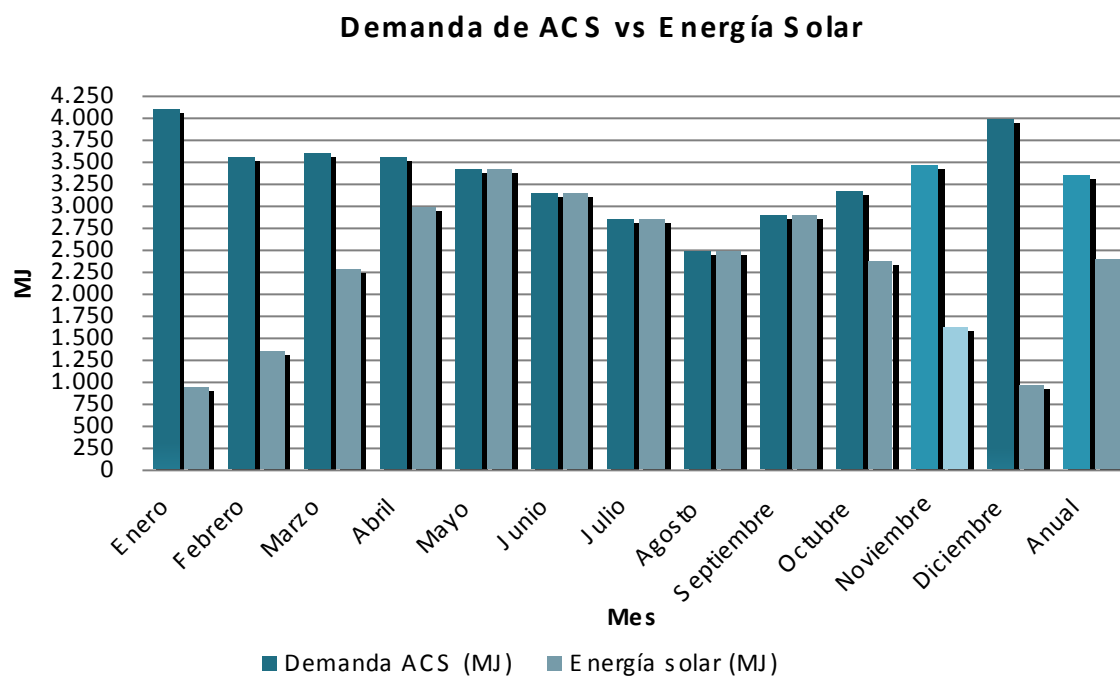


Figura 4.28. Demanda energética instalación vs. contribución solar.

4.1.5. OTROS CÁLCULOS Y CONCLUSIONES OBTENIDAS

Debido a los elevados valores obtenidos de la cobertura solar en los meses del periodo estival (Junio, Julio, Agosto y Septiembre), y observando que estos han aumentado aún más al resolver el sistema de 9 ecuaciones con 9 incógnitas, una vez tenidas en cuenta las pérdidas de temperatura en la instalación, decidimos realizar el cálculo de la fracción solar con varios captadores de diferentes características (área, rendimientos...), para ver si con alguno de ellos conseguíamos cumplir con las especificaciones de Código Técnico de la Edificación, que indica que en ningún mes del año se puede superar el 110% de la cobertura solar, y que en no más de 3 meses seguidos pueden superar el 100%, por lo que realizamos todos los cálculos realizados anteriormente de pérdidas de temperatura en las tuberías (que en algún caso varía su dimensionado), así como las pérdidas de temperatura en los colectores.

En la siguiente tabla se puede observar una breve definición de las características más significativas de cada uno de los colectores con los que hemos ensayado, y comprobando que las características de cada colector difiere mucho de los demás.

| | $A_{\text{total}} \text{ (m}^2\text{)}$ | $A_{\text{apertura}} \text{ (m}^2\text{)}$ | a_0 | $a_1 \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$ |
|-------------------------------------|---|--|-------|------------------------------------|
| ESCOSOL 2300 Selectivo Titan | 2,3 | 2,16 | 0,775 | 3,67 |
| DISOL ICARUS 21L | 2,09 | 1,92 | 0,674 | 5,472 |
| ASTERSA AT 018 | 1,95 | 1,77 | 0,748 | 3,718 |
| ASTERSA 2.4 M | 2,6 | 2,4 | 0,773 | 3,809 |
| ASTERSA 2,6 M | 2,74 | 2,52 | 0,749 | 3,708 |

Tabla 4.22. Características técnicas de los captadores.

Para más detalle de los captadores probados consultar ANEXO 2.

Los resultados obtenidos de la cobertura solar, una vez tenidas en cuenta las pérdidas térmicas de la instalación, con y sin corregir se pueden ver en la tabla resumen siguiente:

| Mes | <i>f</i> | | | | |
|------------|---------------------------------------|------------------------|-------------------|------------------|------------------|
| | ESCOSOL 2300 Selectivo Titan | DISOL ICARUS 21L | ASTERSA AT 018 | ASTERSA 2.4 M | ASTERSA 2.6 M |
| Enero | 0,226 | 0,158 | 0,195 | 0,195 | 0,186 |
| Febrero | 0,382 | 0,358 | 0,338 | 0,338 | 0,313 |
| Marzo | 0,630 | 0,620 | 0,572 | 0,572 | 0,520 |
| Abril | 0,839 | 0,862 | 0,779 | 0,779 | 0,697 |
| Mayo | 1,004 | 1,051 | 0,941 | 0,941 | 0,837 |
| Junio | 1,193 | 1,307 | 1,131 | 1,131 | 1,025 |
| Julio | 1,626 | 1,740 | 1,542 | 1,542 | 1,359 |
| Agosto | 1,773 | 1,892 | 1,678 | 1,678 | 1,481 |
| Septiembre | 1,233 | 1,310 | 1,165 | 1,165 | 1,030 |
| Octubre | 0,748 | 0,764 | 0,692 | 0,692 | 0,621 |
| Noviembre | 0,469 | 0,469 | 0,430 | 0,430 | 0,389 |
| Diciembre | 0,238 | 0,203 | 0,202 | 0,202 | 0,193 |
| Anual | 0,864 | 0,895 | 0,805 | 0,805 | 0,721 |

Tabla 4.23. Cobertura Solar con pérdidas y sin corregir.

| Mes | <i>f</i> | | | | |
|------------|---------------------------------------|------------------------|-------------------|------------------|------------------|
| | ESCOSOL 2300 Selectivo Titan | DISOL ICARUS 21L | ASTERSA AT 018 | ASTERSA 2.4 M | ASTERSA 2.6 M |
| Enero | 0,226 | 0,158 | 0,195 | 0,195 | 0,186 |
| Febrero | 0,382 | 0,358 | 0,338 | 0,338 | 0,313 |
| Marzo | 0,630 | 0,620 | 0,572 | 0,572 | 0,520 |
| Abril | 0,839 | 0,862 | 0,779 | 0,779 | 0,697 |
| Mayo | 1,000 | 1,000 | 0,941 | 0,941 | 0,837 |
| Junio | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| Julio | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| Agosto | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| Septiembre | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| Octubre | 0,748 | 0,764 | 0,692 | 0,692 | 0,621 |
| Noviembre | 0,469 | 0,469 | 0,430 | 0,430 | 0,389 |
| Diciembre | 0,238 | 0,203 | 0,202 | 0,202 | 0,193 |
| Anual | 0,711 | 0,703 | 0,679 | 0,679 | 0,646 |

Tabla 4.24. Cobertura Solar con pérdidas y corregida.

Para más detalle sobre las temperaturas obtenidas de la resolución del sistema de ecuaciones ver **ANEXO 2**.

A continuación se puede observar la comparativa de las coberturas obtenidas con cada uno de los captadores.

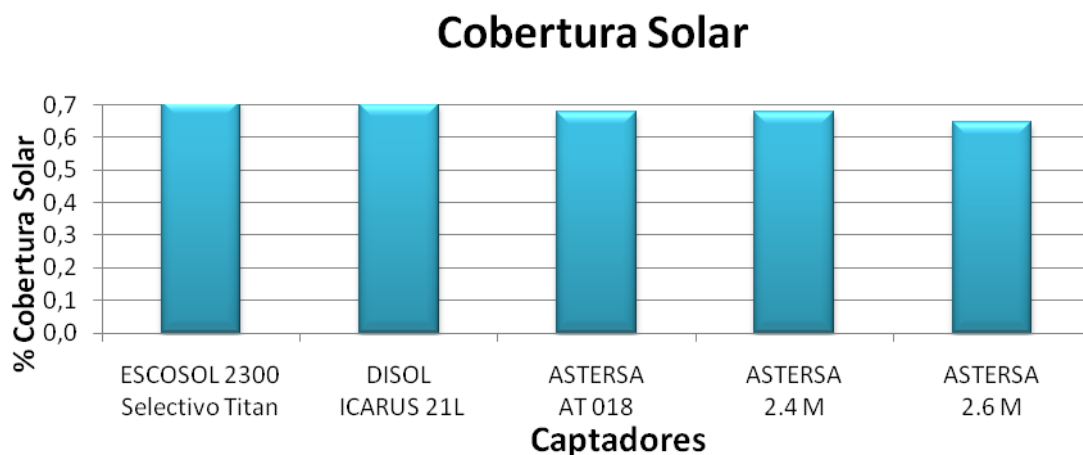


Figura 4.29. Comparativa de los Captadores.

De los resultados obtenidos observamos que sólo 2 de los captadores nos cumplen la exigencia del CTE, de cubrir mínimo el 70% de la cobertura solar anual de la instalación, y además ninguno de los captadores cumple con las exigencias de que en no más de 3 meses consecutivos se cubra más del 100% de la demanda, y que la cobertura de ninguno de los meses puede exceder el 110% de la misma.

Por tanto podemos concluir que para ningún colector de los ensayados podemos cumplir estas exigencias, por lo que decidimos proseguir el dimensionado de la instalación con los dos captadores que nos cumplen la exigencia del CTE de cubrir mínimo el 70 % de la demanda energética. Estos colectores son:

- ***Escosol Sol 2300 Selectivo Titan***
- ***Disol Icarus 21 L.***

Además observamos, curiosamente, que estos dos captadores cubren en el mes de Mayo más del 100% de la cobertura solar, por lo que serán 5 los meses en los que la superemos, y que en el mes de Agosto, que es el más crítico por las condiciones de radiación máxima y consumo mínimo, quedando corroborado que es imposible cumplir con estas exigencias que impone el Código Técnico de la Edificación, ya que si disminuyéramos el área de captación, no llegaríamos a cubrir el mínimo exigido.

Una vez llegados a este punto, debemos decidir entre los dos captadores seleccionados, y para decantarnos por uno de los dos nos fijamos en el exceso de energía térmica que se genera en los meses del periodo estival, que será un dato crítico a la hora de calcular el disipador de calor, que en nuestro caso será un aerotermo el encargado de dicha labor.

Por tanto, observando la tabla siguiente podemos observar como el exceso de energía térmica de la instalación es superior con el captador solar **Disol Icarus 21 L**, como se puede observar en la tabla siguiente, por lo que decidimos instalar los captadores **Escosol Sol 2300 Selectivo Titan**, que aporta una cobertura solar anual mayor y un exceso de energía térmica menor que el anterior.

| Mes | Potencia a disipar (W) | |
|--------------|------------------------------|------------------|
| | ESCOSOL 2300 Selectivo Titan | DISOL ICARUS 21L |
| Mayo | 428,59 | 5093,20 |
| Junio | 17770,31 | 28213,89 |
| Julio | 51855,62 | 61288,34 |
| Agosto | 55958,50 | 64580,18 |
| Septiembre | 20803,74 | 27671,38 |
| Total | 146816,77 | 186846,98 |

Tabla 4.25. Potencia a disipar de la instalación.

Una vez llegados a este punto, nos planteamos si la inclinación del tejado (25°) donde van instalados los colectores, tendrá mucho que ver en los resultados obtenidos, ya que por tratarse de una instalación de uso constante durante el año, la inclinación apropiada para maximizar el rendimiento de la instalación debe coincidir con la latitud geográfica para ser la óptima, que en nuestro caso es de $39,5^\circ$.

Por tanto, repetimos los cálculos con el colector solar **Escosol Sol 2300 Selectivo Titán** con una inclinación de $39,5^\circ$, que no sería factible en realidad, porque los captadores tienen que ser paralelos a la envolvente energética de edificio, o estar situados en una terraza plana, que en nuestro edificio no existe, para cumplir con las leyes urbanísticas.

Los resultados obtenidos para la cobertura solar con esta inclinación “óptima” de $39,5^\circ$, se pueden comparar fácilmente, con los obtenidos con la inclinación del tejado, 25° , simplemente observando la tabla siguiente, y podemos concluir que las distribución de temperatura ha variado pero la cobertura mejora muy poco, quedando además demostrado que se sigue sin cumplir con el CTE en cuanto a los excesos de energía se refiere.

| Mes | ESCOSOL 2300 Selectivo Titán | | | |
|------------|------------------------------|--------------|-------------|--------------|
| | f sin corregir | | f corregida | |
| | 25° | $39,5^\circ$ | 25° | $39,5^\circ$ |
| Enero | 0,226 | 0,255 | 0,226 | 0,255 |
| Febrero | 0,382 | 0,408 | 0,382 | 0,408 |
| Marzo | 0,630 | 0,630 | 0,630 | 0,630 |
| Abril | 0,839 | 0,795 | 0,839 | 0,795 |
| Mayo | 1,004 | 0,904 | 1,000 | 0,904 |
| Junio | 1,193 | 1,058 | 1,000 | 1,000 |
| Julio | 1,626 | 1,473 | 1,000 | 1,000 |
| Agosto | 1,773 | 1,688 | 1,000 | 1,000 |
| Septiembre | 1,233 | 1,253 | 1,000 | 1,000 |
| Octubre | 0,748 | 0,819 | 0,748 | 0,819 |
| Noviembre | 0,469 | 0,531 | 0,469 | 0,531 |
| Diciembre | 0,238 | 0,277 | 0,238 | 0,277 |
| Anual | 0,864 | 0,841 | 0,711 | 0,718 |

Tabla 4.26. Cobertura solar en función de la inclinación.

4.1.6. VASO DE EXPANSIÓN

El circuito primario debe constar de un vaso de expansión. La función principal de dicho vaso de expansión será absorber las dilataciones propias del fluido caloportador producidas como resultado del aumento de temperatura, evitando así la rotura de algún elemento de la instalación como consecuencia de la presencia de presiones peligrosas resultantes del aumento de temperatura.

Los vasos de expansión pueden ser de dos tipos:

- Vaso de expansión abierto: Depósito situado por encima del punto más alto de la instalación; su función será recoger el exceso de volumen de agua producido por la dilatación. Se emplean para las instalaciones de calefacción.

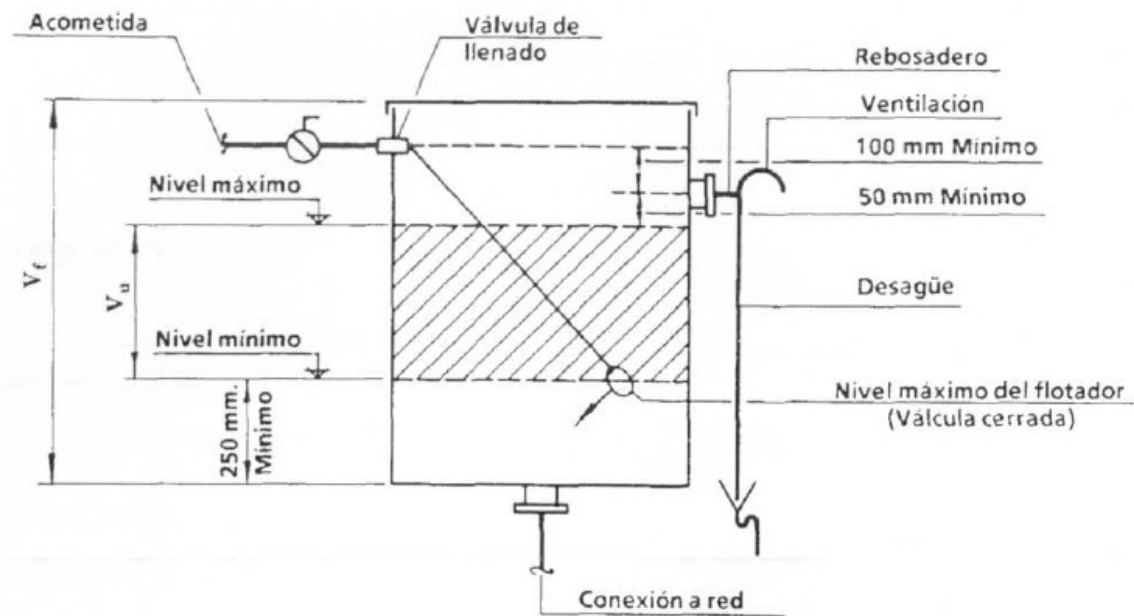


Figura 4.30. Esquema general Vaso de Expansión abierto.

- Vaso de expansión cerrado: consiste en un pequeño recipiente cerrado, dividido interiormente por una membrana de caucho elástica. La zona superior se llena con aire y la otra se conecta al circuito primario. La dilatación del agua queda absorbida por la cámara de gas al abombarse la membrana lo que produce un aumento de presión en la cámara superior. Para evitar que reviente, tiene éste una válvula de seguridad que se abre cuando la presión en el vaso alcanza la presión de tarado de la propia válvula.

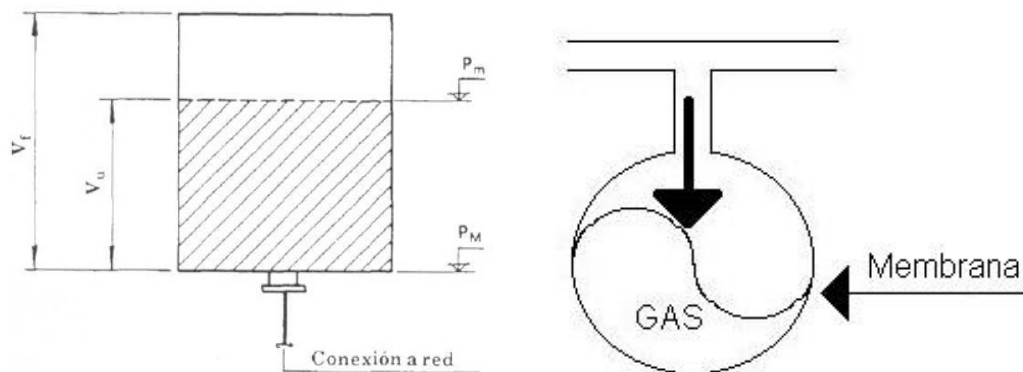


Figura 4.31. Esquema general Vaso de Expansión cerrado.

Para el diseño de nuestra instalación escogemos un vaso de expansión cerrado, que presentan notables ventajas frente a los vasos abiertos a pesar de que su coste es superior.

Estas ventajas son:

- **Facilidad de montaje.** La mayoría de los edificios actuales tienen cubiertas planas y tejados de poca inclinación, como es nuestro caso (25°) en los que es muy difícil montar un vaso de expansión abierto por encima de los captadores.
- **No absorben oxígeno del aire,** eliminan las pérdidas del fluido caloportador por evaporación evitando la corrosión e incrustación provocada por el agua de reposición.
- **No es necesario aislarlos.**

Para realizar **dimensionado** del vaso de expansión podemos seguir varios caminos:

- Seguir las indicaciones de la **instrucción UNE100.155**, como se puede observar en el **ANEXO 4**.
- Seguir las indicaciones del **Centro de Estudios de Energía Solar**, que será el camino que sigamos.

A pesar de todo esto expuestos en el **ANEXO 4**, para realizar el diseño y dimensionado del vaso de expansión tendremos en cuenta lo recomendado por el **Centro de Estudios de Energía Solar**, el cual indica que para instalaciones de A.C.S, la práctica recomienda el uso de la siguiente fórmula para calcular el volumen del vaso d expansión:

$$V_t = V_{ins} \cdot (0,2 + 0,01 \cdot h)$$

donde : **h**: es la diferencia de alturas en metros entre el punto más alto del campo de colectores y el depósito de expansión.

V_{ins}: es el volumen de la instalación.

De este modo, para una diferencia de altura de 15 metros y un volumen de líquido caloportador de 42 litros, aplicando las ecuaciones anteriores obtenemos un vaso de expansión con una capacidad de:

$$V_t = V_{ins} \cdot (0,2 + 0,01 \cdot h) = 42 \cdot (0,2 + 0,01 \cdot 15) = 14,7 \cdot l$$

El vaso que más se aproxima a esta capacidad es el de un volumen de 18 litros, y el fabricante escogido para el vaso de expansión será Salvador Escoda.



Figura 4.32. Vaso de Expansión 18 CMS-SO.

Las características técnicas del vaso son las siguientes:

- Capacidad: 18 litros.
- Conexión de Agua: $\frac{3}{4}$ ".
- Dimensiones DxH: 270x405 mm.
- Presión máxima: 10 bar.
- Peso: 4 Kg.

4.1.7. AEROTERMO

Para evitar sobre calentamientos en la instalación, el sistema de control activará un aerotermo para disipar el calor excedente en el caso de que en el circuito primario, y en especial en los captadores solares, se supere la temperatura máxima de consigna.

Como hemos calculado anteriormente, en los meses de Mayo, Junio, Julio, Agosto y Septiembre, la contribución solar excede del 100%, por lo que para compensar este exceso de calor, y para evitar sobrecalentamientos en la instalación se va a instalar un aerotermo.

Para realizar el cálculo y dimensionado del sistema de disipación de calor, debemos conocer la potencia que debe disipar y para ello simplemente la calculamos según la siguiente igualdad:

$$Potencia_{disipar} \cdot (W) = \frac{Demanda_{disipar} \cdot (J)}{Tiempo_{sol} \cdot (s)}$$

| Mes | Demanda ACS (MJ) | Porcentaje a disipar (%) | Demanda a disipar (MJ) | Horas de sol | Potencia a disipar (W) |
|-------------------|------------------|--------------------------|------------------------|--------------|------------------------|
| Mayo | 3415,44 | 0,004 | 14,66 | 9,5 | 428,594 |
| Junio | 3143,05 | 0,193 | 607,74 | 9,5 | 17770,312 |
| Julio | 2832,52 | 0,626 | 1.773,46 | 9,5 | 51855,624 |
| Agosto | 2476,06 | 0,773 | 1.913,78 | 9,5 | 55958,498 |
| Septiembre | 2892,11 | 0,233 | 674,04 | 9,0 | 20803,743 |

Tabla 4.27. Fracciones solares previa y corregida.

De estos cálculos obtenemos que la potencia total a disipar es de **146816,77 (W)**.

Por tanto, se instalará un disipador de calor que cumple con la norma UNE-EN 12828 y las indicaciones del Código Técnico de la Edificación, HE 4 apartado 3.2.2.3.1. Protección contra sobrecalentamientos “se deben dotar a las instalaciones solares de dispositivos de control manuales automáticos que eviten los sobrecalentamientos de la instalación...”

El disipador escogido es el modelo **ESCOSOL BD 56 de 56 KW** de potencia del fabricante **SALVADOR ESCODA**, que incluye el soporte.

Como podemos ver a continuación, este aerotermo es recomendado por el fabricante para instalaciones de aproximadamente 70 (m²), pero la decisión que hemos tomado de cubrir el 70% de la demanda como exige el Código Técnico de la Edificación, nos hace tener un exceso tan elevado de Energía Térmica acumulada en Verano.

| ARTÍCULO | m ² colector | Potencia disip. kW |
|----------|----------------------------|-----------------------|
| BD 56 | 70 | 56 |



**Figura 4.33. Aerotermo ESCOSOL BD 56 de 56 KW
del fabricante SALVADOR ESCODA.**

4.1.8. BOMBA DE CIRCULACIÓN (ELECTROCIRCULADORES)

A lo largo del circuito primario el transporte del fluido caloportador se realiza con la ayuda de las bombas de circulación. Dichas bombas de circulación se pueden definir como aparatos accionados por un motor eléctrico, este motor suministra al fluido una cierta cantidad de energía necesaria para superar la resistencia establecida por dicho fluido a su paso por la tubería y demás componentes propios de la instalación, manteniendo la presión deseada en cualquier punto de esta.

Dentro del circuito, la inclusión de una bomba es de gran importancia ya que, como hemos citado anteriormente, nuestra instalación esta diseñada con circulación forzada, lo cual implica que el fluido de trabajo aumenta su velocidad de circulación.

Según el Centro de Estudios de Energía Solar existen tres tipos de bombas de circulación:

- Bombas alternativas.
- Bombas rotativas.
- Bombas centrífugas.

Son estas últimas las que se emplean en los sistemas de energía solar. Las **bombas centrífugas** están compuestas por los siguientes elementos:

- Orificio de aspiración, por el cual entra el líquido a la bomba de impulsión.
- Rodete impulsor, es el elemento rotativo de la bomba.
- Cámara de impulsión, que recoge el fluido y lo conduce a la descarga de la bomba.
- Orificio de impulsión, es el lugar por donde se expulsa el líquido de la bomba.
- Aspiración, es la boca de contacto entre la bomba y la tubería.
- Difusor es el conducto de salida del líquido dentro de la bomba.
- Álabes son las palas del rodete impulsor.

El fluido a través del orificio de aspiración, situado en el centro del rodete, entra en la bomba de circulación, siendo aspirado y transportado hasta los álabes. De esta forma, y debido al movimiento de rotación del rodete producido por el eje de un motor eléctrico, el fluido gana energía cinética.

El rodete al girar crea una presión de aspiración (depresión), es decir, un vacío que además proporciona una presión de impulsión al fluido. La suma de ambas presiones es la presión total que se comunica a dicho fluido.

Los álabes desprenden tangencialmente el fluido mediante su fuerza centrífuga y lo conducen hacia la cámara de presión. El fluido presurizado va desde la cámara de presión hacia el orificio de impulsión y, a través del difusor hacia el exterior.

Las **bombas centrífugas** pueden clasificarse en tres tipos:

- De **rotor sumergido** formado por un conjunto “monobloc” que une el cuerpo de la bomba con el motor mediante tornillos. Existe un único eje que une el rodete con el rotor del motor. Entre el rotor y el estator existe una separación estanca formada por una chapa de acero inoxidable. Estas bombas pueden purgarse fácilmente. Deben montarse en línea, es decir intercalados directamente en la tubería. Suelen ser muy silenciosos y de bajo mantenimiento.
- Bombas **monobloc**. En ellas el rodete y el eje del motor forman un mismo conjunto que puede desmontarse del resto del cuerpo de la bomba. Pueden montarse con el eje en cualquier posición.
- Con **acoplamiento motor-bomba de ejes distintos**. El motor y el cuerpo forman un conjunto independiente uniendo el eje del rotor con el rodete a través de un acoplamiento elástico. Son ruidosos.

La bomba ha de ser resistente a la corrosión, destacando aquellos casos en los que circula agua de la red. En este caso, debido al aire y sales minerales que contiene dicho agua, debe ser de un tipo especial, diseñadas para hacer circular Agua Caliente Sanitaria y denominadas como “bombas de recirculación”. Además, cabe destacar que deben resistir temperaturas del orden de los 100 °C.

El coste de la instalación y el consumo eléctrico será el principal inconveniente de las bombas. Sin embargo, a través de diferentes estudios podemos afirmar que el aumento del rendimiento de las instalaciones con circulación forzada compensa dichos costes adicionales.

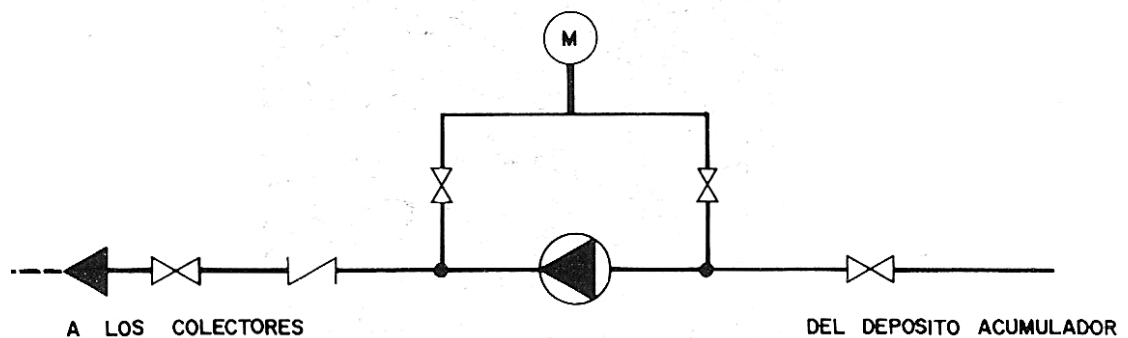


Figura 4.34. Esquema general Bomba de Circulación.

Para escoger la bomba de circulación necesitamos conocer dos datos esenciales de la instalación:

- El caudal que va a circular por las conducciones.
- Las pérdidas de carga de la instalación.

El **caudal de la instalación** lo calcularemos a partir del caudal recomendado por el fabricante de los colectores solares. Así, tomando el valor de 70 (l/h·m²) de superficie colectora y con una superficie de 8,64 (m²), correspondiente a 4 paneles de 2,16 (m²), obtenemos un caudal de 604,8 (l/h).

A continuación pasamos a calcular las **pérdidas de carga de la instalación**, las cuales se pueden separar en:

- Pérdidas de carga del intercambiador de calor de A.C.S.
- Pérdidas de carga individuales de las piezas de empalme.
- Pérdida de carga de los colectores.
- Pérdida de carga de las tuberías.

Pérdidas de carga del intercambiador de calor de A.C.S.:

Las pérdidas de carga del intercambiador de calor de A.C.S. de nuestra instalación son de 1,17 (m.c.a.), como veremos más adelante, de modo que:

$$\Delta P_{\text{int}} = 1.17 \cdot (\text{m.c.a.}) = 1170 \cdot (\text{mm.c.a.})$$

Pérdidas de carga individuales de las piezas de empalme:

Salvo casos excepcionales, las pérdidas de carga localizadas sólo se pueden determinar de forma experimental, y puesto que son debidas a una disipación de energía motivada por las turbulencias, pueden expresarse en función de la altura cinética corregida mediante un coeficiente empírico (K):

$$h = K \cdot \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Siendo:

- ***h***: pérdida de carga o de energía (m)
- ***K***: coeficiente empírico (adimensional)
- ***v***: velocidad media del flujo (m/s)
- ***g***: aceleración de la gravedad (m/s²)

Para el cálculo de las pérdidas de carga individuales de las piezas de empalme, utilizaremos el método del factor K, por el cual se determina que para cada pieza de empalme, tenemos un factor K característico y determinado, como se puede observar en la siguiente tabla:

| VALORES DEL COEFICIENTE "K" EN PÉRDIDAS SINGULARES | | | |
|---|-----------------|-----------------|--------------|
| Pieza de Empalme | Factor K | Cantidad | Total |
| <i>Codos de 90°</i> | 1,2 | 12 | 14,4 |
| <i>Cambios de dirección</i> | 0,4 | 4 | 1,6 |
| <i>Unión T</i> | 1,4 | 3 | 4,2 |
| <i>Válvula de Clapeta</i> | 12 | 1 | 12 |
| <i>Válvula de Bola</i> | 0,5 | 3 | 1,5 |
| <i>Válvula de Seguridad</i> | 2 | 1 | 2 |
| Total | | | 35,7 |

Tabla 4.28. Factor K para el cálculo de la pérdida de carga.

Multiplicaremos la suma de los K correspondientes a cada pieza de empalme por el valor de $v^2 / 2g = 0,01836 \cdot (m.c.a.) = 18,36 \cdot (mm.c.a.)$, y obtendremos el valor de las pérdidas de carga:

$$\Delta P_{piezas} = 35,7 \cdot 18,36 = 655,71 \cdot (mm.c.a.)$$

Pérdida de carga de los colectores:

Para calcular la pérdida de carga en los colectores, calcularemos la pérdida de carga de uno de ellos y la multiplicaremos por el número total de colectores.

Como no tenemos datos de la pérdida de carga en el colector, calcularemos la pérdida de carga de los uno de los tubos 12 (mm) de diámetro exterior que componen el captador, en función del caudal que circula por el tubo, para así poder obtener la pérdida unitaria, y así poder calcular la pérdida de carga total de la batería de captadores.

Para calcular la pérdida de carga total en la batería simplemente multiplicaremos por el número de tubos de cada captador y por el número de estos.

Para más detalle del proceso seguido para calcular la pérdida de carga en las tuberías de los colectores se puede consultar el **ANEXO 4. PÉRDIDAS DE CARGA EN LAS TUBERÍAS DE LOS COLECTORES.**

Para calcular las pérdidas de carga de una tubería, vamos a utilizar la Fórmula de Darcy-Weisbach, que es la fórmula básica para el cálculo de las pérdidas de carga en las tuberías y conductos. La ecuación es la siguiente:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Lo primero que debemos conocer es el **Re** del fluido que circula por el interior de la tubería, para saber si es Flujo Laminar o Turbulento. El Reynolds se calcula según la siguiente expresión:

$$\text{Re} = \frac{\rho_{\text{fluido}} \cdot v_{\text{fluido}} \cdot D_{\text{int}}}{\mu_{\text{fluido}}} = 494,17 < 2300 ,$$

por tanto estamos en Régimen Laminar.

El coeficiente de fricción f puede deducirse matemáticamente en el caso de régimen laminar, según la siguiente ecuación:

$$f_{\text{laminar}} = \frac{64}{\text{Re}}$$

Por tanto, nuestro coeficiente de fricción valdrá:

$$f_{\text{laminar}} = \frac{64}{494,17} = 0,1295$$

Y aplicando la Fórmula de Darcy-Weisbach, nos queda una pérdida de carga por tubo de:

$$h_f = 0,1295 \cdot \frac{1,9 \cdot (m)}{0,02 \cdot (m)} \cdot \frac{0,053^2 \cdot \left(\frac{m^2}{s^2}\right)}{2 \cdot 9,81 \cdot \left(\frac{m}{s^2}\right)} = 0,00176 \cdot (m.c.a.) = 1,76 \cdot (mm.c.a.)$$

por tanto, las pérdidas totales de carga de los captadores en paralelo son:

$$h_{fTOTAL} = 1,76 \cdot (mm.c.a.)$$

$$\Delta P_{col} = 1,76 \cdot (mm.c.a.)$$

Pérdida de carga de las tuberías:

Para calcular la pérdida de carga de las tuberías de la instalación, utilizaremos el diagrama de pérdidas de carga del cobre, como se puede observar en la figura siguiente. De modo que entrando en este con un caudal de $0,6 \text{ (m}^3/\text{s)}$ y un diámetro interior de tubería de 20 (mm), obtenemos una pérdida de carga por metro de tubería de 20 (mm.c.a.).

La tubería de nuestra instalación tiene una longitud de 42 (m), por lo que la pérdida total de carga de la tubería será:

$$\Delta P_{tub} = 25 \cdot 42 = 1050 \cdot (\text{mm.c.a.})$$

Además comprobamos que la velocidad que el diagrama determina para estos valores es la velocidad calculada en el **ANEXO 4. DIMENSIONADO DE LAS TUBERÍAS DEL CIRCUITO PRIMARIO**, que es con la que con la que trabajará la instalación, y vale $0,535 \text{ (m/s)}$ como se puede apreciar en el Diagrama de pérdidas de carga por rozamiento de la instalación.

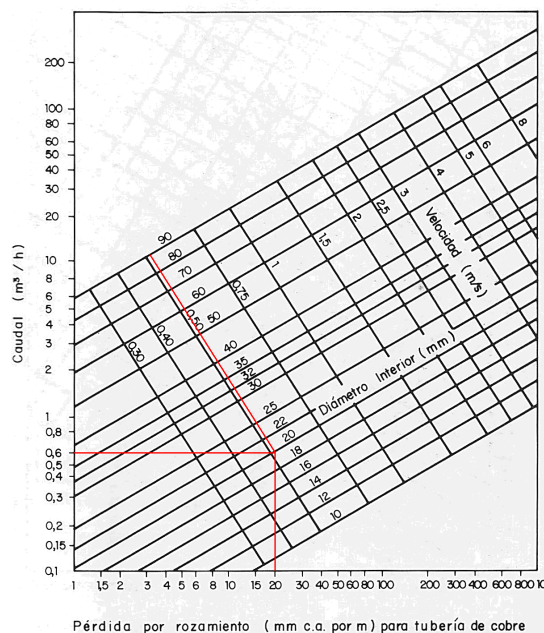


Figura 4.35. Pérdida de carga en tuberías.

Pérdida de carga total del circuito primario:

Por lo tanto las pérdidas totales de carga que debe vencer la bomba de la instalación serán:

$$\Delta P_{inst} = 1170 + 655,71 + 1,76 + 1050 = 2877,47 \cdot (mm.c.a.)$$

$$\Delta P_{inst} = 2,877 \cdot (m.c.a.) = 28215,74 \cdot (Pa)$$

Para continuar con nuestro dimensionad, debemos calcular la **potencia del motor eléctrico de la bomba**, que se calcula a partir de la ecuación siguiente:

$$W_b (W) = \frac{m \cdot \Delta P}{\rho_{fluido} \cdot \eta}$$

donde:

m : gasto másico (kg/s) determinado por los colectores.

ΔP : Pérdidas de presión (Pa)

ρ_{fluido} : densidad del fluido caloportador (kg/m³)

η : rendimiento de conversión de la energía eléctrica en energía de flujo.

El rendimiento real de la bomba depende del tipo y de su tamaño. Para tamaños pequeños como los utilizados en las instalaciones solares, su valor es del orden de 0,5. Con todo esto ya conocido podemos determinar la potencia de la bomba

$$W_b = \frac{m \cdot \Delta P}{\rho_{fluido} \cdot \eta} = 9,42 \cdot (W)$$

Ahora vamos a calcular la altura (h), que debe cubrir la bomba y para ello utilizaremos la siguiente igualdad:

$$\Delta P \cdot (Pa) = h \cdot (m.c.a.) \cdot g \cdot \left(\frac{m}{s^2} \right) \cdot \rho \cdot \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$$

Por tanto obtenemos una altura mínima que cubrir de:

$$h = \frac{28215,74}{9,81 \cdot 1000} = 2,876 \cdot (m.c.a.)$$

Con el paso del tiempo las pérdidas de agua pueden aumentar debido a desgastes de los instrumentos, suciedad, etc. Por ello será aconsejable emplear una bomba de potencia superior. Teniendo en cuenta la escasa potencia requerida por nuestra instalación esta recomendación será fácil de cumplir.

En nuestro caso haremos uso de una bomba **Grundfos UPS 25-40 130**, que como se puede ver en el **ANEXO 4. FICHA TÉCNICA DE LA BOMBA UPS 25-40 130**, y además **dotaremos a la instalación de** un caudalímetro, un sistema de regulación, un termómetro, un manómetro, una válvula antirretorno y un kit de fijación para el vaso de expansión.



Figura 4.36. Bomba Grundfos UPS 25-40 130.



4.1.9. OTROS ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN

- Válvula de seguridad:

Estas válvulas permiten regular la presión y así proteger los componentes de la instalación. La legislación actual exige la colocación de válvulas de seguridad en todos los circuitos sometidos a presión y a variaciones de temperatura.

La válvula de seguridad se debe tarar a una presión inferior a la que pueda soportar el elemento más delicado de la instalación que suele ser el depósito de expansión o el propio colector. Cuando la presión de la instalación llega al valor de tarado de la válvula, esta actúa dejando escapar fluido.

En el mercado existen válvulas previamente taradas a una determinada presión con lo que resulta fácil su elección, pero también existen regulables.

Estas válvulas constan básicamente de un muelle que es vencido por la sobrepresión del circuito. El tamaño de la válvula viene determinado por su diámetro de conexión al circuito y este se seleccionará en función del tamaño de la instalación. La presión de tarado de la válvula de seguridad en el circuito primario será de 4,5 bar (ya que la presión máxima que soporta el elemento más débil del circuito, los captadores solares, es de 9 bar) y descargará sobre el desagüe adecuado para ello. Tendrá un tamaño de $\frac{3}{4}$ ".

Para saber cuando la válvula ha entrado en funcionamiento se colocará en la descarga un embudo de desagüe.

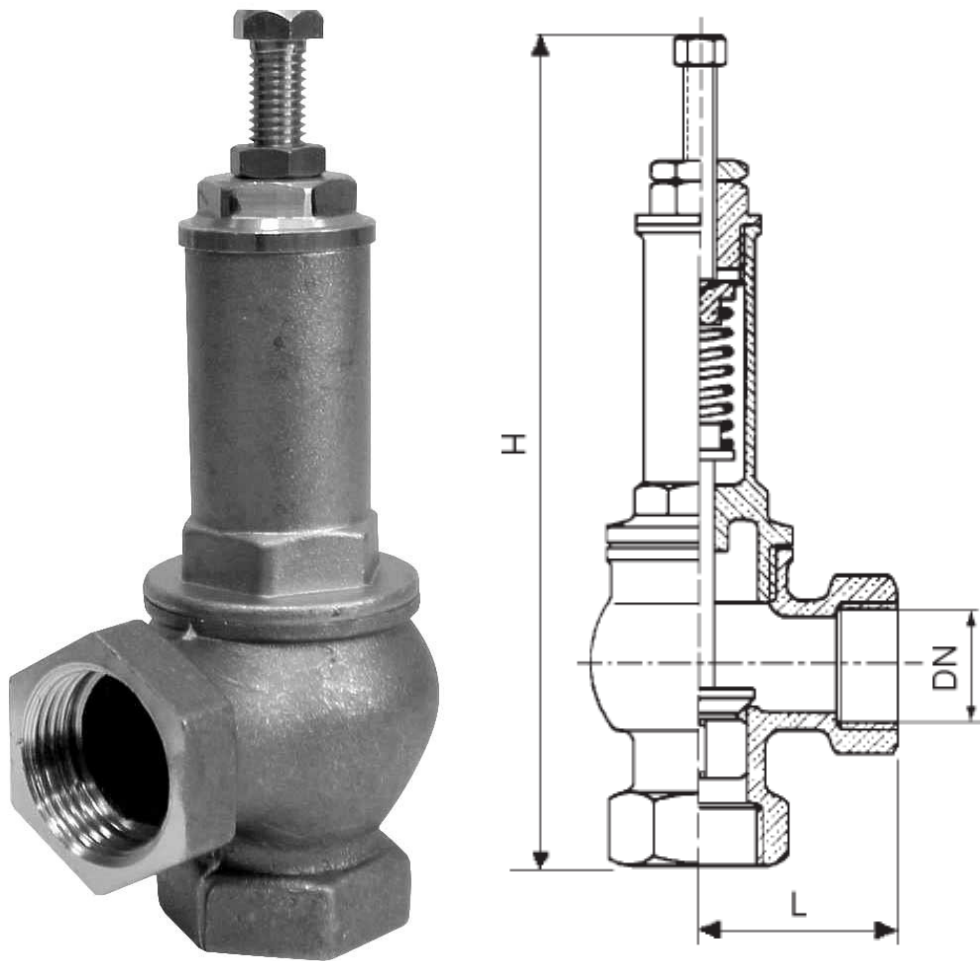


Figura 4.37. Válvula de seguridad.

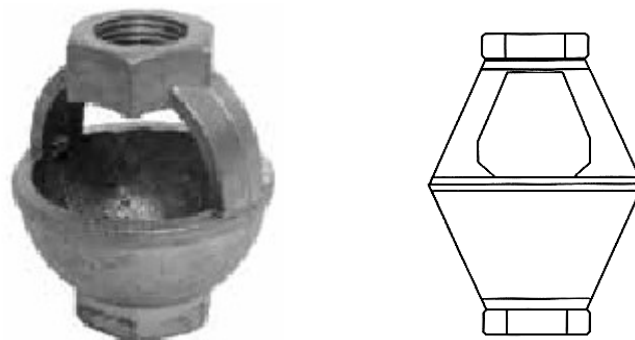


Figura 4.38. Embudo de desagüe.

- Válvula antirretorno:

Es aquella que sólo permite el paso del fluido en un sentido, impidiendo la circulación en sentido contrario. Existen dos tipos:

- **De clapeta.** Constan de una compuerta que se abre al empuje del fluido y que se cierra inmediatamente al cesar la circulación, impidiendo el paso del fluido en sentido contrario.

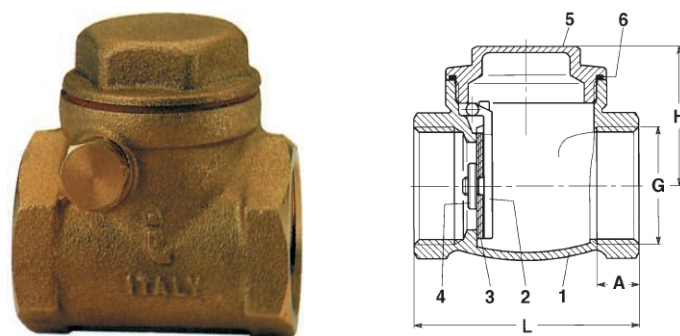


Figura 4.39. Válvulas de clapeta antirretorno.

- **De obús.** En ellas el fluido empuja un muelle que mueve el obús obturador permitiendo la circulación del fluido. Al cesar la circulación el obús vuelve a su posición inicial, impidiendo el paso en sentido contrario.

Las válvulas que utilizaremos en nuestra instalación serán las de clapeta, ya que producen poca pérdida de carga frente a las de obús e irán colocadas detrás de la bomba del circuito primario.

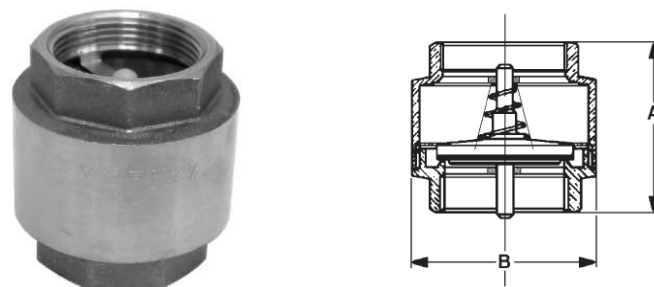


Figura 4.40. Válvulas de obús antirretorno.

- Válvulas de paso:

Son las válvulas encargadas de interrumpir total o parcialmente el paso del fluido por las tuberías. Las de cierre total se utilizan para aislar una parte de la instalación, mientras que las de cierre parcial sirven para producir una pérdida de carga adicional en el circuito, con el fin de regular el caudal o equilibrar la instalación.

Según la función específica será necesaria un tipo de válvula determinado:

- Válvula de asiento. En ellas el elemento obturador es un disco que puede adoptar diferentes formas, cerrándose sobre un asiento. Se utilizan para regular el caudal.
- Válvulas de compuerta. Se utilizan como elemento de cierre y nunca para regular el fluido caloportador.
- Válvulas de mariposa. Son aquellas en las que el obturador es un disco o mariposa que gira con el eje.
- Válvulas de bola. En este caso el elemento obturador es una bola de acero inoxidable con un orificio del mismo diámetro que la tubería en la que se coloca, con lo que su pérdida de carga es mínima cuando están abiertas.

Para la instalación utilizaremos válvulas de bola, las cuales se instalarán antes y después de aquellos elementos de la instalación susceptibles de averiarse con el fin de poder sustituirlos o repararlos sin necesidad de vaciar la instalación.

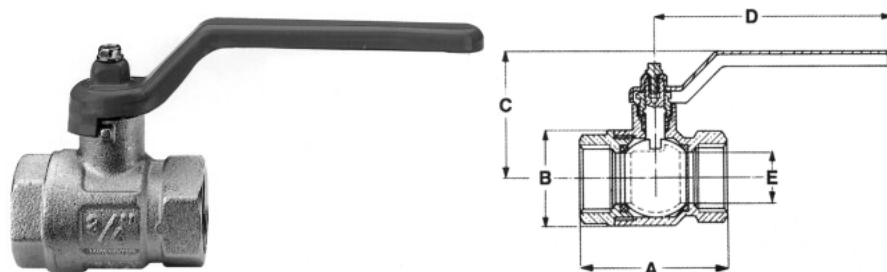


Figura 4.41. Válvulas de bola.

- Válvulas de vaciado:

Para operaciones de mantenimiento o reparación de algún elemento averiado de la instalación es necesario vaciar el circuito. Para poder hacerlo con rapidez y comodidad se precisa colocar en la parte inferior de los circuitos una llave de paso conocida como válvula de vaciado.

- Purgador:

El purgador es el elemento encargado de evacuar los gases, generalmente aire, contenidos en el fluido caloportador. Estos gases interrumpen la adecuada circulación del fluido provocando cierta corrosión en tuberías y colectores.

El purgador se colocará en el punto más alto de la instalación debido a que es en esta zona donde se acumulan los gases.

Así, se colocará un purgador a la salida de la batería de colectores. Este purgador será fundamental para evitar la existencia de gases en el llenado de la instalación, antes de su puesta en marcha.

El purgador automático será de la marca **SALVADOR ESCODA** modelo **PURG-O-MAT 150 SOLAR**, que es especial para instalaciones de energía solar.

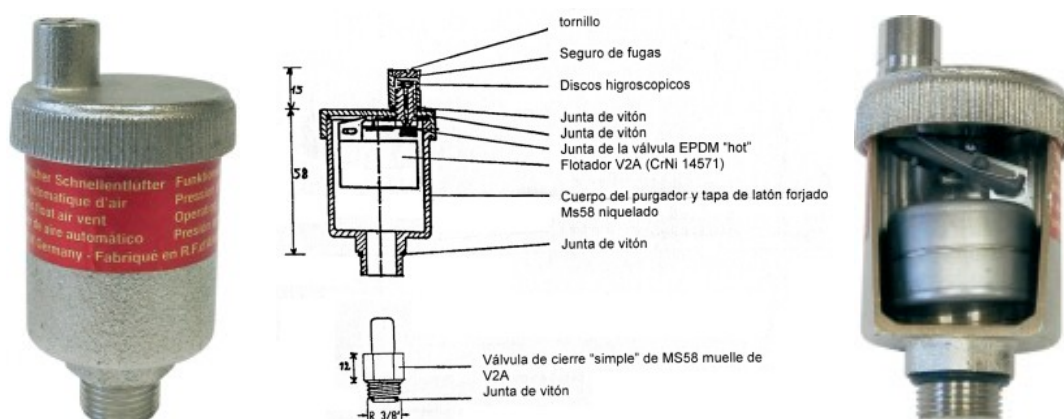


Figura 4.42. Purgador automático.

- Regulador térmico diferencial:

Las instalaciones solares funcionan de manera correcta cuando las temperaturas en toda la instalación son y corresponden a las temperaturas para las cuales la instalación ha sido diseñada. Por la general, la cesión de energía de los captadores solares al depósito se realizará siempre que los captadores solares tengan más calor que el depósito. Si este hecho no sucediera así, las bombas se pararían, hasta que los captadores reciban una radiación solar más elevada, que aumente el calor del circuito por encima del calor del depósito.

Por otro lado, las bombas no arrancarán si el depósito ha sido calentado hasta la temperatura requerida, aunque los captadores sigan recibiendo sol.

Para la realización de todos estos controles propios del sistema debido a las consignas de diferencias de temperatura establecidas entre los elementos de la instalación, será necesario utilizar algún sistema de control, que en nuestro caso será un regulador térmico diferencial.

El regulador térmico diferencial dará las órdenes necesarias para que las bombas se pongan en funcionamiento o se paren. Esto será detallado más ampliamente en el apartado de regulación y control.

El sistema regulador térmico elegido será el modelo **RD-MU/3** de la marca **Mundocontrol**, y sus características técnicas se pueden observar en el **ANEXO 4. FICHA TÉCNICA DEL REGULADOR MUNDOCONTROL RD-MU/3**.



Figura 4.43. Regulador térmico diferencial.

4.2. CIRCUITO SECUNDARIO

El circuito secundario estará compuesto principalmente por los siguientes elementos: un sistema de acumulación, un intercambiador de calor, el agua de consumo y un sistema auxiliar.

4.2.1. PROBLEMÁTICA DE LA LEGIONELA EN LAS INSTALACIONES DE A.C.S.

Los sistemas de agua deben estar diseñados convenientemente y deben tener un correcto mantenimiento. Si esto no fuese así, estos sistemas de agua podrían convertirse en focos amplificadores de la Legionela Pneumophila, bacteria causante de la legionelosis.

La legionela es una bacteria que, asociada a medios acuáticos, se encuentra muy extendida en la naturaleza. Desde estos reservorios naturales en los que se encuentra esta bacteria a bajas concentraciones, puede pasar a instalaciones que requieren el empleo de agua a través de las redes de distribución. En estos espacios la bacteria encuentra un hábitat idóneo para su multiplicación, llegando en algunos casos a alcanzar el número necesario para que resulte infectante.

La infección se transmite por inhalación de la legionela. Esta es conducida a través de pequeñas gotas de agua que penetran en el pulmón. El riesgo de contraer la enfermedad aumenta a medida que crece la cantidad de bacterias inhaladas y el tiempo de exposición. Cabe destacar que aún no se ha detectado la transmisión persona a persona por contacto directo.

En un proyecto de ingeniería uno de los puntos de partida debe ser el contar con la alta probabilidad existente de la presencia de microorganismos, en muy baja concentración en los sistemas de agua abiertos. De esta forma el problema radicará en evitar su multiplicación.

De todos los parámetros influyentes en el desarrollo de la bacteria se ha comprobado que el más significativo es la temperatura. El informe **UNE 100.030 IN (2001)** sobre legionela indica en el apartado 4 que el crecimiento de la bacteria es elevado entre 20°C y 45°C, alcanzando el óptimo alrededor de 37°C.

Así, la multiplicación de la bacteria desciende a temperaturas más altas de los 37°C, que es la temperatura idónea para la multiplicación, de forma que entre 42° y 44°C es mínima y cesa completamente a 46°C.

Además también desciende por debajo de 35°, de manera que puede considerarse nula o insignificante para temperaturas inferiores a los 20°C.

La bacteria de la legionela comienza a morir a temperaturas superiores a 50°C, de forma que el 90% mueren en 2 horas. Pero algunas de las bacterias e legionela se protegen enquistándose en otros microorganismos, de forma que al descender la temperatura vuelve a proliferar la bacteria.

La muerte instantánea se produce al superarse los 70°C, de forma que el 90% de las bacterias mueren en 2 minutos.

Entre las fuentes de infección, los sistemas de preparación centralizados de A.C.S. con acumulación están entre los de más riesgo.

En la figura que se puede ver a continuación se comparan las temperaturas medias de funcionamiento de algunos sistemas mecánicos y el comportamiento de la bacteria a esas temperaturas.

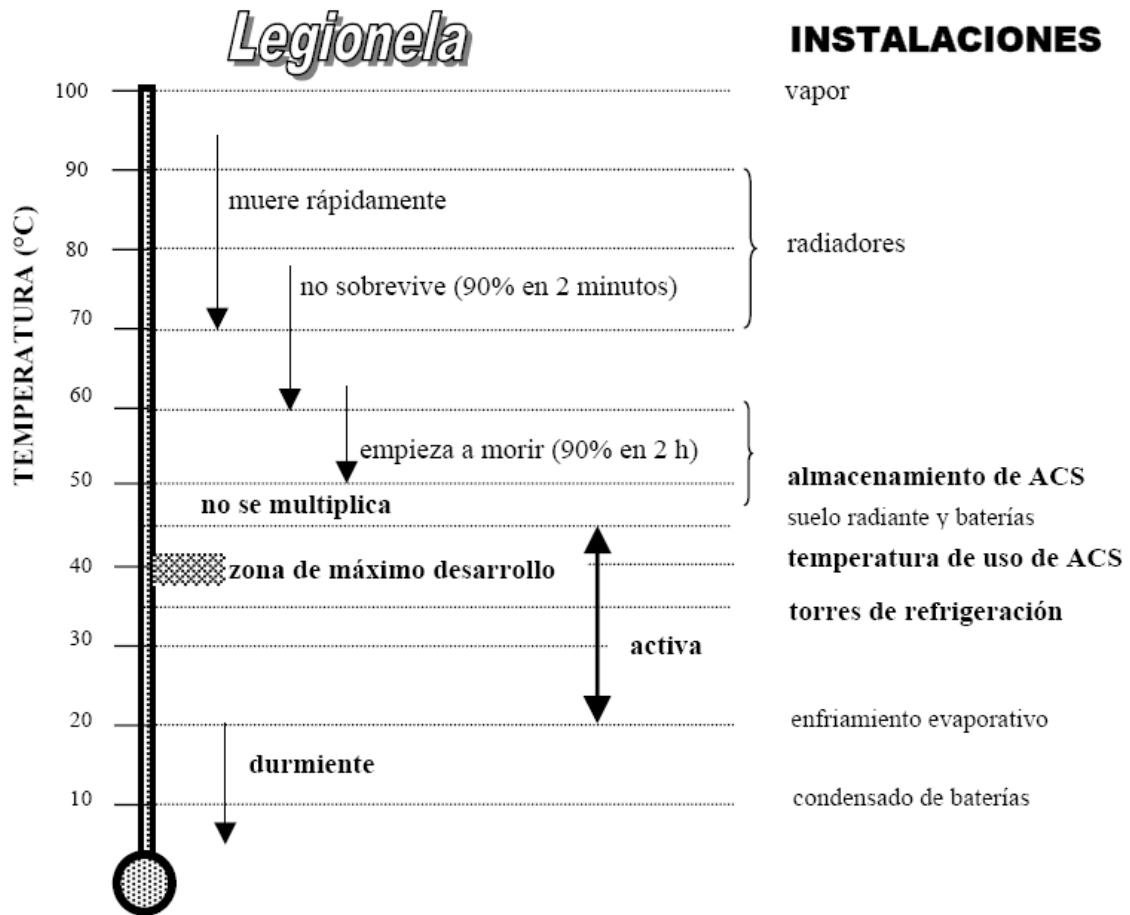


Figura 4.44. Legionella y temperaturas de funcionamiento de las instalaciones térmicas.

En el apartado 5 del citado informe se indican las acciones preventivas a efectuar en la fase de diseño.

Las acciones preventivas reflejadas en el citado informe destinadas a la fase de diseño está dirigidas, principalmente, a las instalaciones de A.C.S. con sistemas de preparación centralizados, dotados de depósitos de acumulación, al servicio de edificios destinados a hospitales, clínicas, hoteles, residencias, balnearios, viviendas, cuarteles, cárceles, complejos turísticos, deportivos o dedicados al ocio, y cualquier otro edificio de uso similar.

Para otros tipos de edificios o sistemas de preparación dichas prescripciones, cuando sean de aplicación, deben considerarse muy recomendables:

- La temperatura de acumulación deber ser como mínimo de 55°C, siendo muy recomendable de 60°C.
- El sistema de calentamiento será capaz de llevar la temperatura del agua hasta 70°C de forma periódica para su presurización cuando sea necesario.
- La temperatura del agua de distribución no podrá ser inferior a 50°C en el punto más alejado del circuito o en la tubería de retorno a la entrada del depósito. Esta temperatura es un compromiso entre la necesidad de ofrecer un nivel de temperatura aceptable para el usuario para prevenir el riesgo de quemaduras, y la de conseguir la temperatura necesaria para reducir la multiplicación de la bacteria, como se puede observar en la figura 4.28.

Cuando en el sistema existan aparatos sanitarios con cabezas de alto poder pulverizador como por ejemplo una ducha, un lavabo, es imprescindible mantener una temperatura elevada. Esta temperatura elevada, también es necesaria cuando exista un cierto volumen de acumulación.

Cuando la instalación y la puesta en marcha se han realizado de manera adecuada será necesario un mantenimiento adecuado de dicha instalación. El mantenimiento se llevará a cabo a través de las revisiones oportunas de las instalaciones y sus componentes, además del control de las temperaturas de la misma, evitando así el riesgo de legionela.

Tal y como establece el **Real Decreto 865/2003** sobre los Criterios-Higiénico-Sanitarios para la Prevención y Control de la Legionelosis se realizará una limpieza y desinfección del circuito secundario una vez al año elevando la temperatura hasta los 70°C (temperatura a la que la bacteria muere).

Estas labores de desinfección y limpieza son también fundamentales para el correcto funcionamiento de la instalación.

Todo lo relacionado con el tema de mantenimiento de una instalación será tratado de forma más detallada en el apartado 7 de este proyecto, referente al Mantenimiento de una Instalación Solar.

Debemos tener en cuenta que la preparación del agua caliente a esas temperaturas presenta una serie de inconvenientes:

- Se dificulta el empleo de bomba de calor, sistemas de paneles solares de baja temperatura y calderas de baja temperatura y de condensación.
- Las pérdidas de calor del sistema de distribución serán cuantiosas, aún cuando la red esté debidamente aislada.
- Se dificulta el uso del acero galvanizado en el circuito que no es adecuado para estas temperaturas.
- Se aumenta el riesgo de quemaduras por posibles errores en el manejo de la grifería.

Este último inconveniente se evidencia en la figura siguiente (de ASHRAE 1997 Fundamentals) indicando el límite de la temperatura superficial de diferentes materiales, entre ellos el agua, para evitar dolor y daños a la piel.

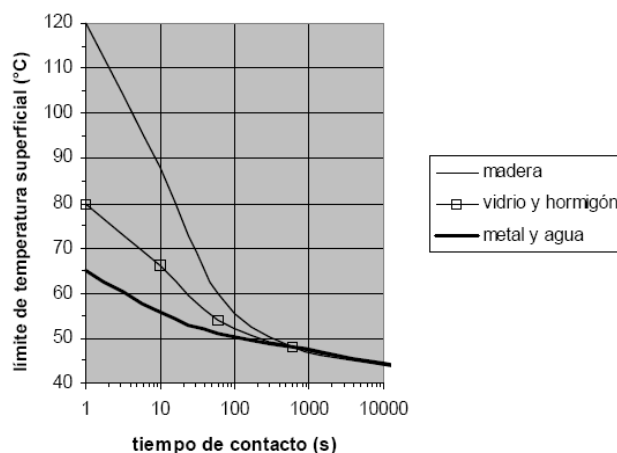


Figura 4.45. Límites de temperatura superficial.

4.2.2. ACUMULADORES

Dentro de nuestra instalación, los depósitos acumuladores pueden ser clasificados en dos tipos:

- **Acumuladores solares:** Encargados de almacenar energía procedente de los paneles solares.
- **Acumulador de Caldera:** Encargados de garantizar el suministro de Agua Caliente Sanitaria en las situaciones de confort estipuladas.

4.2.2.1. ACUMULADORES SOLARES

La función del tanque de almacenamiento es la de almacenar la energía obtenida a través del fluido caloportador, realizándolo mediante agua caliente. Esta forma de almacenamiento es barata, fácil de manejar y posee una alta capacidad calorífica, por ello que sea una de las formas de almacenamiento más empleadas. El almacenamiento de la energía resulta fundamental a la hora de adecuar la energía solar disponible a la demanda producida por la aplicación. Esto es debido a que generalmente ambas no coinciden y son variables, pudiendo ser una de ellas mayor que la otra a intervalos de tiempo irregulares e impredecibles.

Las exigencias que debe cumplir un sistema de almacenamiento son las siguientes:

- Alta capacidad calorífica
- Volumen reducido.
- Temperatura de utilización acorde con la necesidad concreta.
- Rápida respuesta a la demanda.
- Buena integración en el edificio.
- Bajo coste.
- Seguridad.
- Larga duración.

El tanque debe mantener la temperatura del agua durante largos periodos de tiempo incluso de noche, por ello debe estar correctamente aislado aunque no se le suministre energía. De esta manera cumplirá correctamente su función.

Existen distintas opciones para elegir el material del acumulador. Estas opciones pueden ser las siguientes: acero, acero inoxidable, aluminio y fibra de vidrio reforzada.

Entre estas opciones escogemos un acumulador fabricado en **acero vitrificado S/DIN 4753**. Entre las ventajas de uso de este material destacamos que con el uso del mismo evitamos la corrosión dificultando así el desarrollo de la legionela.

En los sistemas de acumulación se debe procurar que el agua esté dividida en dos capas a temperaturas diferentes: la del agua fría y la del agua caliente, separadas entre sí por una capa a temperatura intermedia. Esta capa es la de mayor riesgo para la formación de la bacteria de la legionela, ya que tiene la temperatura ideal para la proliferación de la misma. El volumen de esta capa deberá ser lo más reducido posible para que sea máximo el volumen útil del sistema de acumulación. En otras palabras, se debe favorecer la estratificación del agua, empleando depósitos verticales de diámetro reducido y gran altura. Para favorecer esta estratificación la entrada y salida del depósito al intercambiador de calor se situarán en la zona inferior de dicho depósito, de tal manera que al entrar el agua caliente procedente del intercambiador tenderá a subir, produciéndose el intercambio de calor con el agua más fría que se encuentra en el acumulador. La entrada del agua procedente del intercambiador se situará por encima de la salida para evitar que se produzca una circulación de agua sin que haya intercambio en el acumulador.

Como el intercambiador de calor de nuestra instalación será exterior los acumuladores no tendrán serpentines interiores, por lo que facilitará su limpieza, mantenimiento y protección.

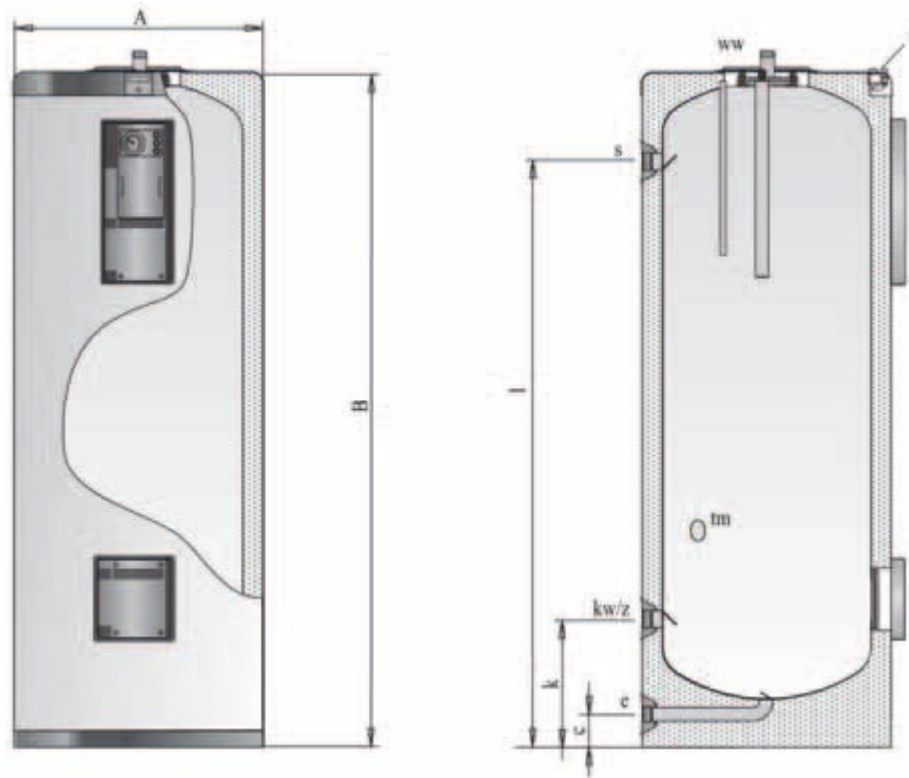


Figura 4.46. Esquema acumulador Solar.

El depósito acumulador debe constar de:

- Una boca de registro y limpieza para facilitar su mantenimiento.
- Una válvula de vaciado en la parte más baja.
- Como elemento de protección, una válvula de seguridad que evite que la instalación sufra sobrepresiones.
- Las correspondientes válvulas de corte para que en cualquier operación (reparación, limpieza, etc.) pueda ser aislado del resto de la instalación.
- Un termómetro para poder visualizar la temperatura directamente.
- Una sonda de temperatura que regule la circulación de fluido caloportador por el intercambiador.

Con todo lo anteriormente dicho, decidimos instalar un acumulador Modelo **CV-500-SR de Salvador Escoda**, con un volumen de acumulación de 500 (l), como determinamos en apartados anteriores.

Las dimensiones del tanque son de 770 (mm) de diámetro y 1690 (mm) de altura, como se puede observar en el **ANEXO 4. FICHA TÉCNICA DEL ACUMULADOR SOLAR**.



**Figura 4.47. Acumulador Solar CV-500-SR
de Salvador Escoda.**

Uno de los aspectos más importantes de los acumuladores es el dimensionado del aislamiento para evitar, en la medida de lo posible, pérdidas por transferencia de calor. Por eso el propio acumulador viene ya aislado térmicamente con un aislante compuesto por espuma rígida de poliuretano inyectado en molde, libre de CFC.

4.2.2.2. ACUMULADORES DE CALDERA.

Los acumuladores de caldera tienen como función principal garantizar que el agua que va a ser consumida alcance la temperatura de 60°C antes de su distribución dirigida al consumo, aportando la energía necesaria que no haya cubierto el sistema solar por si mismo. Respecto a la energía que deberá aportar el acumulador de caldera de nuestra instalación, lo trataremos en el siguiente apartado 5, el cual hace referencia al Impacto Medioambiental.

Además de asegurar que la temperatura sea la adecuada para el consumo, cumplimos con lo establecido en el Real Decreto 865/2003 sobre criterios higiénico sanitarios para la prevención y control de la legionelosis. Entre estos criterios destacamos que la temperatura apropiada para el consumo y control de la legionela será de 60°C, como hemos apuntado anteriormente.

De esta forma, al no poder asegurar esta temperatura en los acumuladores solares, el uso del acumulador queda totalmente justificado. Por lo tanto, el circuito primario calentará el agua. Posteriormente pasará al acumulador de caldera, donde alcanzará la temperatura adecuada y exigida para el consumo, este calentamiento es producido por el calor proporcionado por la propia caldera.

El volumen del acumulador de Caldera será de 200 (litros) como veremos más adelante.

El acumulador de caldera también llevará una válvula de seguridad, una de vaciado, las correspondientes válvulas de corte, un termómetro y un termostato para mantener la temperatura de consigna.

Nuestra instalación tendrá una caldera de gas con una potencia térmica útil de 7 hasta 23,5 (kW). El dimensionado de esta caldera se justificará también en el apartado 4.2.4.



**Figura 4.48. Acumulador de caldera
CV-200 SR, IDROGAS.**



**Figura 4.49. Caldera de Gas
DOMIPROJECT C 24, FERROLI.**

4.2.3. INTERCAMBIADOR DE CALOR

El intercambiador de calor tiene como función el transferir la energía calorífica procedente del Sol al agua de consumo del circuito secundario, realizándose la captación de la energía solar a través de los colectores, transfiriéndola estos al fluido caloportador del circuito primario, y este al fluido del circuito secundario, por medio de este intercambiador. Así, tendremos circuitos independientes. Estos circuitos nos permitirán que no se mezcle el fluido que circulará por los captadores (fluido con anticongelante como sistema de protección contra heladas) con el de consumo (agua).

Un intercambiador se caracteriza por dos parámetros principales, que son **el rendimiento y la eficiencia del intercambio**.

- **El rendimiento** se define como la relación entre la energía obtenida y la introducida. Aquellos intercambiadores cuyo rendimiento sea inferior al 95%, deben ser desechados.
- **La eficiencia o efectividad del intercambiador** se define como la relación entre la energía calorífica intercambiada en la unidad de tiempo (potencia térmica) y la máxima que teóricamente podrá intercambiarse. Un diseño correcto del sistema exige un valor para la eficiencia nunca inferior a 0,7.

Además de estos dos parámetros habrá que especificar **la potencia de intercambio** que será función del área de captación solar, cumpliendo la condición:

$$P \geq 500 \cdot A$$

Donde:

- **P:** potencia mínima del intercambiador, en W
- **A:** área de captadores, en m².

En nuestra instalación se hará uso de un intercambiador exterior de placas de acero inoxidable que no estará integrado en el tanque de acumulación.

El intercambiador de calor de placas consta de un paquete de placas metálicas de relieve corrugado con orificios para la circulación de los dos fluidos entre los que se va a producir la transferencia térmica.

El paquete de placas se sitúa entre una placa de bastidor y una placa de presión que, mediante unos pernos de apriete, comprimen el citado paquete. Cada placa lleva una junta periférica que sella los canales y dirige el fluido alternativamente entre placas. El número de placas se determina en función de los caudales, propiedades físicas de los fluidos, pérdidas de carga admisibles y programa de temperaturas.

Las conexiones se sitúan en la placa de bastidor, o si alguno de los fluidos realiza más de un paso dentro de la unidad, se sitúan en las placas de bastidor y de presión.



Figura 4.50. Intercambiador de calor, conexiones.

Los intercambiadores de placas presentan las siguientes ventajas:

- Alta calidad del material, que garantiza la duración y por tanto la rentabilidad.
- Son modulables, sin más que añadir o quitar placas, lo que permite una fácil corrección en caso de error en el dimensionado previo o ampliación de la instalación.
- Poseen gran facilidad de mantenimiento, al ser desmontables y de fácil limpieza.
- Tienen una excelente eficacia debido a su funcionamiento a contracorriente, lo que permite una gran potencia de intercambio con un pequeño tamaño.

Además de estas ventajas los intercambiadores de placas presentan también una serie de desventajas, de las que destacamos:

- Al ser exterior tiene mayores pérdidas de calor que los interiores.
- Las pérdidas de carga son mayores que las de los intercambiadores de haz tubular

Para el dimensionado del intercambiador de placas es necesario conocer la potencia calorífica a transferir del circuito primario al secundario. Para esto partimos del caudal que circula por el primario, que es de 604,8 (l/h), (siguiendo las recomendaciones del fabricante de los captadores solares se ha tomado un caudal de 70 (l/h·m²) de superficie colectora, siendo dicha superficie de 8,64 (m²).

El salto térmico que se aplica es el determinado por las temperaturas proporcionadas en la simulación de la instalación que hemos hecho en Mathcad, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

| Mes | T _{ice} (K) | T _{ics} (K) | T _{ice} (°C) | T _{ics} (°C) | ΔT (°C) |
|------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|---------|
| Enero | 292,43 | 290,86 | 19,43 | 17,86 | 1,57 |
| Febrero | 301,96 | 299,71 | 28,96 | 26,71 | 2,24 |
| Marzo | 316,75 | 313,35 | 43,75 | 40,35 | 3,40 |
| Abril | 328,49 | 324,14 | 55,49 | 51,14 | 4,36 |
| Mayo | 336,98 | 332,10 | 63,98 | 59,10 | 4,88 |
| Junio | 346,35 | 340,84 | 73,35 | 67,84 | 5,51 |
| Julio | 366,88 | 360,33 | 93,88 | 87,33 | 6,54 |
| Agosto | 374,18 | 367,94 | 101,18 | 94,94 | 6,24 |
| Septiembre | 348,47 | 342,94 | 75,47 | 69,94 | 5,53 |
| Octubre | 323,38 | 319,85 | 50,38 | 46,85 | 3,54 |
| Noviembre | 308,11 | 305,29 | 35,11 | 32,29 | 2,82 |
| Diciembre | 293,15 | 291,45 | 20,15 | 18,45 | 1,70 |
| Anual | 328,09 | 324,07 | 55,09 | 51,07 | 4,03 |

Tabla 4.29. Salto térmico en el intercambiador.

El salto térmico será:

$$\Delta T = (T_{ice} - T_{ics}) \cdot (K) = (328,09 - 324,15) \cdot (K) = 4,03 \cdot (°C)$$

La capacidad calorífica y la densidad de la mezcla son las mismas que hemos estado usando hasta ahora para nuestro fluido caloportador (30% de propilenglicol).

De este modo aplicando la ecuación:

$$\dot{Q} = \rho_{fluido} \cdot \dot{m} \cdot C_{p_fluido} \cdot \Delta T = 1035 \cdot 1,68 \cdot 10^{-4} \cdot 3820 \cdot 4,03 = 2676,81 \cdot (W)$$

De este modo obtenemos una potencia de intercambio de **2676,81 (W)**, que son 2,7 (KW),

De manera que no cumplimos con lo establecido anteriormente:

$$Q \geq 500 \cdot A = 4,32 \cdot (kW)$$

Por esto, buscaremos un intercambiador de cómo mínimo 4,32 (KW), para cumplir con la exigencia anterior del Código Técnico de la Edificación, cuyas características de funcionamiento se asemejen lo máximo posible a las de nuestra instalación, que tiene un caudal de 604,8 (l/h) y con una Potencia (Q) de 4320 (W), que equivalen 5011,2 (Kcal/h).

Por tanto, elegimos un intercambiador modelo M3FM L del fabricante ALFA LAVAL, que es distribuido por SALVADOR ESCODA, el cual está compuesto por 8 placas, con un caudal de 600 (l/h) y de Potencia 6.000 (Kcal/h).

A continuación se puede observar un detalle de la Ficha técnica del Intercambiador y en el ANEXO 4. FICHA TÉCNICA DEL INTERCAMBIADOR, se puede observar entera.

Producción de A.C.S. con panel solar:

| Modelo | Nº Placas | Paneles | (1º) Panel 55°C | | (2º) A.C.S. 45°C | | Pot. Kcal/h |
|--------|-----------|---------|-----------------|--------|------------------|--------|-------------|
| | | | l/h | m.c.a. | l/h | m.c.a. | |
| M3FM L | 8 | 5 | 600 | 0,77 | 600 | 1,17 | 6.000 |

Figura 4.51. Detalle de la Ficha Técnica del Intercambiador de Calor.

Por tanto, la pérdida de carga del intercambiador tanto en el circuito primario como en el secundario será de **1,17·(m.c.a.)**.



M3-FM

Figura 4.52. Intercambiador de calor M3FM L.

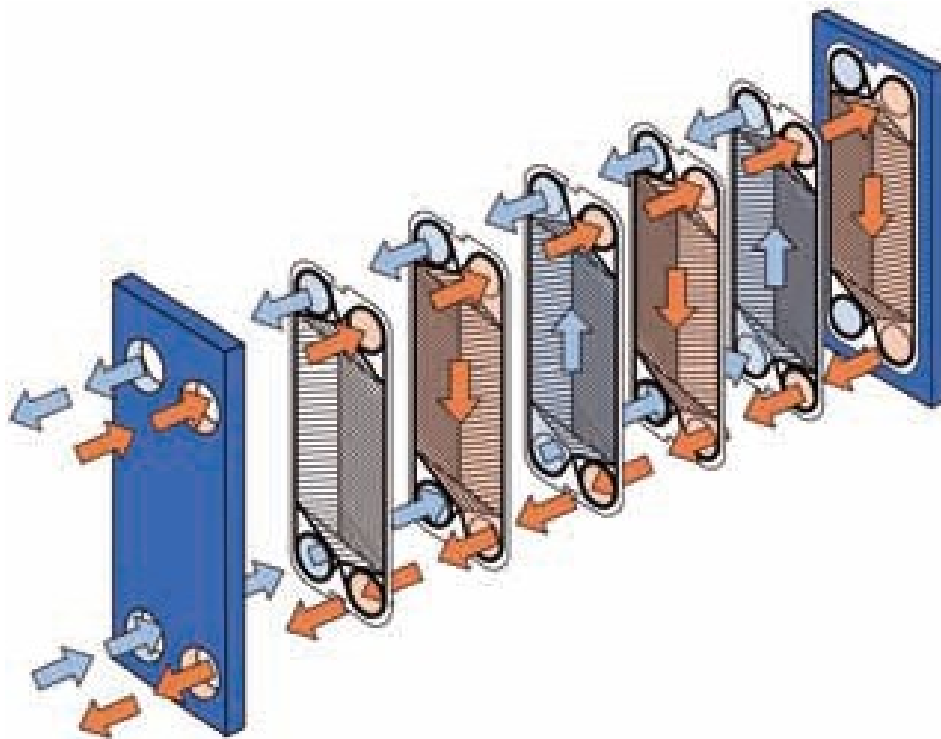


Figura 4.53. Circulación en el Intercambiador de calor.

4.2.4. SISTEMA DE ENERGÍA AUXILIAR

En algunas zonas geográficas, debido a sus características climáticas, el rendimiento de un sistema solar térmico en determinados meses del año es nulo o muy reducido. Por esta razón será necesario un sistema de apoyo que complemente o, en algunos casos, sustituya al sistema de energía solar

Debemos maximizar el uso de la energía solar y complementarla con el aporte energético necesario para conseguir la temperatura deseada.

Nuestra instalación deberá incluir una fuente de energía auxiliar la cual nos proporcionará la energía que, en periodos de mucha demanda o en periodos prolongados de nubosidad, no sea capaz de proporcionar el sistema de energía solar.

Los sistemas auxiliares de energía térmica pueden ser de los siguientes tipos:

- Serpentin o resistencia en la parte superior del tanque confiando en la estratificación. Es un sistema barato y sencillo, se utiliza para instalaciones de pequeñas dimensiones, pero su principal inconveniente es la disminución del rendimiento.
- Utilizando un aporte auxiliar que entrará en funcionamiento cuando la temperatura del tanque de almacenamiento no sea suficiente, es decir utilizando una caldera. Su principal inconveniente es que desaprovecha energía solar por falta de temperatura en el tanque.
- Por último suministrando calor directamente al tanque de almacenamiento hasta que este alcance la temperatura adecuada para el correcto suministro. A este sistema se le conoce como disposición en serie.

Para diseñar el sistema auxiliar de apoyo energético se debe tener en cuenta dos aspectos fundamentales:

- El dimensionado ha de asegurar el calentamiento hasta la temperatura de diseño de la totalidad del agua utilizada en el consumo diario previsto.
- El sistema tendrá en todo caso un control en la temperatura de salida, de forma que esta no sobrepase la temperatura de utilización prevista que no será superior a 60°C.

Para el caso de paro de la instalación por avería, reparación o mantenimiento debemos equipar la instalación una válvula By-pass para garantizar el abastecimiento de A.C.S..

En nuestra instalación nos hemos decidido por el uso de un acumulador de caldera de gas natural como hemos descrito en el apartado anterior. Hemos escogido esta opción debido al bajo coste respecto al resto de opciones valoradas (energía eléctrica, butano, gasóleo...) y por emitir menos CO₂ a la atmósfera, por lo que este sistema auxiliar contaminará menos que las demás opciones.

Nuestro sistema auxiliar debe aportar la energía que debe cubrir la diferencia entre la demanda total de energía de nuestro edificio y la energía suministrada por nuestra instalación solar.

A continuación podemos ver la tabla que muestra la energía que ha de suministrar la caldera:

| Mes | Demanda Energética (MJ) | Energía Solar (MJ) | Energía Caldera (MJ) |
|------------|-------------------------|--------------------|----------------------|
| Enero | 4100,99 | 928,19 | 3172,80 |
| Febrero | 3537,27 | 1349,83 | 2187,43 |
| Marzo | 3594,01 | 2263,94 | 1330,07 |
| Abril | 3536,34 | 2968,22 | 568,12 |
| Mayo | 3415,44 | 3415,44 | 0,00 |
| Junio | 3143,05 | 3143,05 | 0,00 |
| Julio | 2832,52 | 2832,52 | 0,00 |
| Agosto | 2476,06 | 2476,06 | 0,00 |
| Septiembre | 2892,11 | 2892,11 | 0,00 |
| Octubre | 3151,34 | 2356,76 | 794,59 |
| Noviembre | 3444,31 | 1616,93 | 1827,37 |
| Diciembre | 3971,68 | 944,52 | 3027,15 |
| Anual | 40095,10 | 27187,56 | 12907,54 |

Tabla 4.30. Demanda energética, energía solar aprovechable y energía a cubrir con el sistema auxiliar.

A la hora de dimensionar nuestro sistema de energía auxiliar, el cual constará de una caldera de gas natural y de un acumulador de caldera tal como hemos visto en el anteriormente en el apartado **4.2.2.2.**, hemos tenido en cuenta lo establecido en el **documento técnico DTIE 1.01**, el cual tiene en cuenta aquellos periodos de tiempo en los que el consumo es máximo o “punta”. El tiempo de preparación que hemos estimado ha sido de dos horas. De este modo:

- El consumo diario: $Q_d = 528 \text{ l/día}$ (22 l/persona según CTE y 24 personas).
- El consumo punta en una hora según DTIE 1.01:

$$Q_p = 0,75 \cdot 528 = 396 \cdot (l/h) = 0,11 \cdot (l/s)$$

- La temperatura de suministro (°C): 60°C
- La temperatura de red del mes más desfavorable: 6°C.
- El salto térmico (°C): 54°C.

- El periodo de punta T:

$$T = 5 \cdot \frac{N^{0,905}}{15 + N^{0,920}} = 1,723 \cdot (\text{horas}) = 6202,8 \cdot (s)$$

- Factor de simultaneidad:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{N-1}} + 0,17 = 0,503$$

- Caudal máximo:

$$C_{\max} = 0,11 \cdot 0,503 = 0,05533 \cdot (l/s)$$

- Factor de forma:

$$f_f = \frac{H}{D} = \frac{1390}{520} = 2,67 > 2,5$$

por lo que:

$$f_m = 0,98$$

- Volumen útil:

$$V_u = \frac{C_{\max}}{\frac{1}{T} + \frac{1}{t_p \cdot f_m}} = 2106,4 \cdot (l)$$

- Volumen total:

$$V = \frac{V_u}{f_m} = 218,8 \cdot (l)$$

- Potencia útil:

$$P_u = \frac{4,19 \cdot \Delta T \cdot C_{\max}}{1 + \frac{t_p}{T} \cdot f_m} = 4,62 \cdot (kW)$$

- Pérdidas de disponibilidad:

$$P_d = \frac{0,55 \cdot V}{1000} = 0,12 \cdot (kW)$$

- Pérdidas de la red distribución:

$$P_r \cdot (kW) = 0,3 \cdot P$$

- Potencia total:

$$P = P_u + P_d + P_r = \frac{4,62 + 0,12}{0,7} = 6,77 \cdot (kW)$$

Por lo tanto, ya conocemos la potencia mínima total de la caldera y el volumen de acumulación de esta. Con esta información determinamos cuales serán los elementos de nuestro sistema de energía auxiliar:

- Caldera de Gas de la marca FERROLI, modelo DOMIPROJECT C 24 con una potencia térmica útil de 7 hasta 23,5 (kW).
- Acumulador de Caldera de la marca IDROGAS, modelo CV-200 SR con un volumen neto de 200 (l) y dimensiones 1205/620 (mm).

4.2.5. BOMBA DE CIRCULACIÓN

El caudal que circulará por el circuito primario y secundario será el mismo (afirmación justificada en el aparatado de cálculos). Esto se debe uso del intercambiador de nuestra instalación el cual será simétrico, permitiendo que el flujo másico del fluido frío sea igual al flujo másico del fluido caliente. El caudal al que estamos haciendo referencia tiene un valor total de 604,8 (l/h).

A continuación y una vez visto el caudal pasamos a estimar las pérdidas de carga, entre las que se pueden distinguir:

- Pérdida de carga de las tuberías.
- Pérdidas de carga del intercambiador de calor de A.C.S.
- Pérdidas de carga imprevistas en los acumuladores.

Pérdida de carga de las tuberías:

Las pérdidas de carga por metro lineal en las tuberías del circuito secundario, tienen el mismo valor que en el primario, ya que circula el mismo caudal y tienen el mismo diámetro interior.

Por tanto, teniendo en cuenta que tenemos 1 (m) de tubería de ida desde el acumulador al intercambiador y otro de vuelta en sentido contrario el total de tubería es de 2 (m), La pérdida total de carga de la tubería será:

$$\Delta P_{tub} = 25 \cdot 2 = 50 \cdot (mm.c.a)$$

Pérdidas de carga del intercambiador de calor de A.C.S.:

Las pérdidas de carga del intercambiador de calor de A.C.S. de nuestra instalación son de 1,17 (m.c.a.), de modo que:

$$\Delta P_{\text{int}} = 1.17 \cdot (\text{m.c.a.}) = 1170 \cdot (\text{mm.c.a.})$$

Pérdidas de carga imprevistas en los acumuladores:

Sumándole las pérdidas de carga imprevistas que para los acumuladores se estiman en un 10%, obtenemos:

$$\Delta P_{\text{acum}} = 0,1 \cdot P$$

Pérdida de carga total del circuito secundario:

Por lo tanto las pérdidas totales de carga que debe vencer la bomba de la instalación serán:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{tub}} + \Delta P_{\text{int}} + \Delta P_{\text{acum}} = \frac{50 + 1170}{0,9} = 1355,55 \cdot (\text{mm.c.a.})$$

$$\Delta P_{\text{inst}} = 1,355 \cdot (\text{m.c.a.}) = 13293,4 \cdot (\text{Pa})$$

A continuación se determina la potencia del motor eléctrico de accionamiento, que se calcula de mismo modo que en la bomba del primario mediante la ecuación:

$$W_b (W) = \frac{m \cdot \Delta P}{\rho_{\text{fluido}} \cdot \eta}$$

Ahora vamos a calcular la altura (h), que debe cubrir la bomba y para ello utilizaremos la siguiente igualdad:

$$\Delta P \cdot (Pa) = h \cdot (m.c.a.) \cdot g \cdot \left(\frac{m}{s^2}\right) \cdot \rho \cdot \left(\frac{Kg}{m^3}\right)$$

Por tanto obtenemos una altura mínima que cubrir de:

$$h = \frac{13293,4}{9,81 \cdot 1000} = 1,355 \cdot (m.c.a.)$$

Con el paso del tiempo las pérdidas de agua pueden aumentar debido a desgastes de los instrumentos, suciedad, etc. Por ello será aconsejable emplear una bomba de potencia superior. Teniendo en cuenta la escasa potencia requerida por nuestra instalación esta recomendación será fácil de cumplir.

En nuestro caso haremos uso de una bomba **Grundfos UPS 25-25 180**, que como se puede ver en el **ANEXO 4. FICHA TÉCNICA DE LA BOMBA UPS 25-25 180**.



Figura 4.54. Bomba de circulación Grundfos UPS 25-25 180.

4.2.6. TUBERÍAS

En el punto segundo del apartado 3.4.5, de la Sección HE4, del DB HE, se establece que en el circuito secundario o de servicio de agua caliente sanitaria, podrán utilizarse tuberías de cobre y de acero inoxidable. Podrán utilizarse también para las tuberías materiales plásticos que soporten la temperatura máxima del circuito y cuya utilización esté autorizada por las compañías de suministro de agua potable.

Las tuberías de este circuito no tendrán un elevado riesgo de congelación. Esto debido a que el tanque de almacenamiento y el circuito secundario se encuentran en el interior del edificio. Aún así y teniendo como finalidad evitar las pérdidas térmicas será aconsejable también aislar dichas tuberías. Las características principales de estas tuberías y de su aislamiento son las mismas que para las tuberías del circuito primario, utilizándose el mismo tipo de tuberías y de aislante.

4.2.7. OTROS ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN

El circuito secundario constará, igual que el circuito primario, de los siguientes elementos:

- *Válvulas de seguridad:* se colocará una en el acumulador.
- *Válvulas antirretorno:* se colocarán en la impulsión de bombas y en los tramos en los que se quiera garantizar que el fluido no circulará en sentido contrario.
- *Válvulas de paso:* se colocarán todas aquellas válvulas que sean necesarias para, en caso de ser necesario, aislar determinados elementos.

- *Válvulas de vaciado*: Se colocará una en la parte más baja del acumulador y otra en la parte más baja de la caldera.
- *Purgador*: existirá un purgador en el punto más alto del depósito del sistema de energía auxiliar para evitar la existencia de aire en dicho circuito.
- *Sondas de temperatura*: se colocarán diferentes sondas de temperatura para realizar la regulación y el control de la instalación.

El circuito secundario consta además de estos elementos comunes a los del circuito primario, de una válvula termostática. El cálculo y diseño de dicha válvula no es objeto de nuestro proyecto, porque se sitúan cerca de los puntos de consumo. Por ello únicamente las mentaremos y explicaremos brevemente su funcionamiento básico.

La válvula termostática mezcladora tendrá como función principal controlar la temperatura de la mezcla de Agua Caliente Sanitaria. Para ello la válvula mezcla el agua caliente procedente de la impulsión del depósito de acumulación auxiliar, a 60°C, con el agua fría de la red de distribución obteniendo la temperatura deseada del agua en los puntos de consumo.

Estas válvulas tendrán como medida de seguridad su bloqueo. Este bloqueo interrumpirá la entrada de agua caliente de la instalación en el caso de que se produzca una discontinuidad en el suministro del agua fría.

Para evitar que en el agua retenida entre la válvula y el punto de consumo se pueda desarrollar la legionela se colocará lo más cerca posible a los puntos de consumo.

4.3. SISTEMA DE CONTROL Y REGULACIÓN DE LA INSTALACIÓN

Los sistemas de control y regulación tienen como objetivo principal optimizar el rendimiento de la instalación y evitar que ésta alcance condiciones extremas que puedan provocar averías.

En la concepción de la regulación influyen 2 parámetros de los captadores solares, que son:

- Caudal del fluido del colector.
- La temperatura media del colector.

Cuanto mayor sea la diferencia entre la temperatura media del captador y la temperatura ambiente menor será el rendimiento. Por ello habrá que tener en cuenta:

- La temperatura de salida del captador debe estar lo más adaptada posible al nivel de consumo.
- La temperatura de retorno hacia el captador debe ser lo más baja posible.

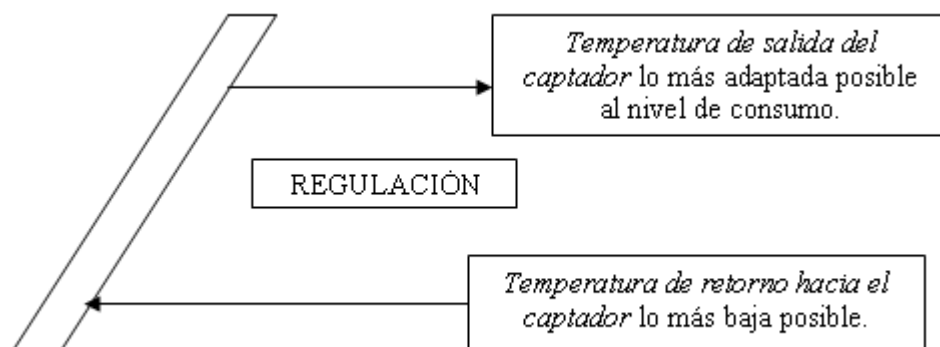


Figura 4.55. Temperaturas de entrada y salida al captador.

Los tres elementos principales de un sistema de regulación y control son:

- *Los sensores*: son los encargados de medir las variables a controlar de la instalación, es decir, las temperaturas. Pueden ser termopares, termorresistencias, termistores, diodos de silicio o de germanio, etc.
- *Regulador*: es el dispositivo que genera una señal de control a partir del valor de la variable controlada y el punto de consigna. Pueden ser termostatos o reguladores proporcionales.
- *Actuador*: es el elemento que al recibir la señal de control actúa sobre la variable de operación, regulando en general el flujo de materia o de energía. Pueden ser relés, contactores, válvulas de control, etc.

En las instalaciones solares la regulación se realiza mediante la comparación de temperaturas en diferentes puntos de la instalación, de forma que se arranquen o paren las bombas y, cuando existan, se activen las válvulas de tres vías. Teniendo en cuenta la normativa correspondiente (RITE-ITE10):

- El control de funcionamiento normal de las bombas será siempre de tipo diferencial y debe actuar en función de la diferencia entre la temperatura del fluido caloportador en la salida de la batería de captadores y la del depósito de acumulación.
- El sistema de control actuará y estará ajustado de manera que las bombas estarán paradas cuando la diferencia de temperaturas sea menor de 2 °C y en funcionamiento cuando la diferencia sea mayor de 7 °C. La diferencia de temperaturas entre los puntos de arranque y de parada del termostato diferencial no será menor de 2 °C.

Según el CTE, DB HE4 la regulación debe cumplir que:

- El sistema de control asegurará el correcto funcionamiento de las instalaciones, procurando obtener un buen aprovechamiento de la energía solar captada y asegurando un uso adecuado de la energía auxiliar. El sistema de regulación y control comprenderá el control de funcionamiento de los circuitos y los sistemas de protección y seguridad contra sobrecalentamientos, heladas etc.
- En circulación forzada, el control de funcionamiento normal de las bombas del circuito de captadores, deberá ser siempre de tipo diferencial y, en caso de que exista depósito de acumulación solar, deberá actuar en función de la diferencia entre la temperatura del fluido portador en la salida de la batería de los captadores y la del depósito de acumulación. El sistema de control actuará y estará ajustado de manera que las bombas no estén en marcha cuando la diferencia de temperaturas sea menor de 2 °C y no estén paradas cuando la diferencia sea mayor de 7 °C. La diferencia de temperaturas entre los puntos de arranque y de parada de termostato diferencial no será menor que 2 °C.
- Las sondas de temperatura para el control diferencial se colocarán en la parte superior de los captadores de forma que representen la máxima temperatura del circuito de captación. El sensor de temperatura de la acumulación se colocará preferentemente en la parte inferior en una zona no influenciada por la circulación del circuito secundario o por el calentamiento del intercambiador si éste fuera incorporado.
- El sistema de control asegurará que en ningún caso se alcancen temperaturas superiores a las máximas soportadas por los materiales, componentes y tratamientos de los circuitos.

- El sistema de control asegurará que en ningún punto la temperatura del fluido de trabajo descienda por debajo de una temperatura tres grados superior a la de congelación del fluido.
- Alternativamente al control diferencial, se podrán usar sistemas de control accionados en función de la radiación solar.
- Las instalaciones con varias aplicaciones deberán ir dotadas con un sistema individual para seleccionar la puesta en marcha de cada una de ellas, complementado con otro que regule la aportación de energía a la misma. Esto se puede realizar por control de temperatura o caudal actuando sobre una válvula de reparto, de tres vías todo o nada, bombas de circulación, o por combinación de varios mecanismos.
- Los purgadores eliminan el contenido de aire que tenga el líquido caloportador ya que el aire reduce la capacidad de transferencia de energía en forma de calor. Además el aire también daña la bomba debido a efectos de cavitación. La evacuación del aire debe hacerse a la hora de la puesta en marcha del sistema. Debido a la tendencia del aire a ocupar las zonas más altas los purgadores deben instalarse en estas zonas.
- El vaso de expansión tiene la misión de controlar la presión de funcionamiento de los circuitos. Cuando el agua está fría tiene un volumen inferior a cuando está caliente. Si no existiera vaso de expansión al aumentar la temperatura del agua aumentaría muchísimo la presión sobre los diferentes elementos de la instalación ocasionando averías.
- Las válvulas de la instalación son de diversos tipos y las que se utilizan en nuestra instalación están ya descritas en los apartados correspondientes.

- Los medidores de caudal se colocarán en la tubería de agua fría de la red antes de la entrada al acumulador solar. Se preverá un by-pass en el montaje del contador para la eventual desconexión y mantenimiento del mismo.
- Las sondas de temperatura serán sondas de inmersión y su ubicación ha de realizarse de forma que detecten las temperaturas que se desean medir, instalándose en el interior de vainas que se colocarán en la dirección del fluido y en sentido contrario al de circulación.
- Además el sistema de control asegurará que en las instalaciones para agua sanitaria, en ningún caso se alcancen temperaturas superiores a 50 ° C en los puntos de consumo, recomendándose el empleo de válvulas mezcladoras.

4.3.1. TIPOS:

Regulación por termostato

El termostato detecta si la temperatura en el captador solar es superior a un valor de consigna fijado con anterioridad. En dicho caso se produce el arranque de la bomba de circulación.

El termostato se monta en la salida del captador, tan cerca del mismo como sea posible.

- Utilización: calentamiento de piscinas al aire libre
- Ventajas: regulación sencilla y muy económica
- Inconvenientes: mal comportamiento a baja carga.

Regulación por termostato diferencial actuando sobre la bomba

Es el sistema de regulación más utilizado. Se compara la temperatura del fluido caloportador a la salida del captador con la temperatura del fluido en la parte inferior del depósito de acumulación. Cuando la diferencia entre ambas sea mayor que un valor ajustado en el termostato diferencial, éste ordenará a la bomba que se ponga en funcionamiento. Es aconsejable utilizar un diferencial mínimo de 6 ° C.

- Utilización: pequeñas instalaciones con distancias pequeñas entre los captadores y el acumulador.
- Ventajas: regulación sencilla y muy económica
- Inconvenientes: mal comportamiento a carga parcial.

Regulación por termostato diferencial y válvula de conmutación

El termostato de conmutación pone en funcionamiento la bomba de circulación, al alcanzarse la temperatura mínima de utilización del captador.

La válvula de conmutación se encuentra en ese momento con el circuito by-pass abierto, y cerrado el circuito al intercambiador.

Cuando la temperatura dada por la sonda situada en la tubería de retorno del captador supera en cierta cantidad la temperatura de fluido en el fondo del acumulador, la válvula motorizada permitirá el paso del flujo caloportador al intercambiador.

- Utilización: pequeñas y medianas instalaciones con distancias grandes entre los captadores y el acumulador.



- Ventajas: regulación sencilla, mejor rendimiento, no se pierde energía en el acumulador.
- Inconvenientes: mal comportamiento a carga parcial, la bomba puede funcionar inútilmente, el captador alcanza temperaturas altas en la puesta en régimen.

Regulación por termostato diferencial y válvula mezcladora progresiva

El termostato de conexión conecta la bomba de circulación cuando hay suficiente radiación solar. El fluido circula a través del by-pass de la válvula mezcladora. Cuando la temperatura de salida del captador es mayor que la del acumulador la válvula se abre progresivamente, circulando una parte del fluido a través del intercambiador. En este caso el circuito de captadores trabaja a caudal constante.

- Utilización: medinas y grandes instalaciones (superficie colectora entre 50 y 300 m²) con distancias grandes entre los captadores y los acumuladores, y temperaturas altas en el acumulador.
- Ventajas: no se pierde energía del acumulador en las tuberías y buen comportamiento a carga parcial.
- Inconvenientes: la bomba puede funcionar inútilmente, el rendimiento no es óptimo.

Regulación por termostato diferencial y válvula de by-pass progresiva.

El regulador de temperatura diferencial compara la temperatura de salida de los captadores con la del fluido del acumulador. Si la primera supera a la última en una cantidad prefijada, se abre la válvula de by-pass. La bomba de circulación se pone en funcionamiento y hace circular un caudal mínimo a través de los captadores.

Si la temperatura de los captadores continuara subiendo, la válvula de by-pass se abriría progresivamente, aumentando el caudal que circula por los mismos y manteniendo constante la diferencia de temperaturas al valor regulado. Si la temperatura de los captadores disminuye, la válvula de by-pass se cierra.

- Utilización: medianas y grandes instalaciones con distancias pequeñas entre los captadores y los acumuladores, y temperaturas altas en el acumulador.
- Ventajas: buen comportamiento a carga parcial, menor número de paradas de las bombas.
- Inconvenientes: se pierde energía del acumulador en las tuberías.



5. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL.

5. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

5.1. ASPECTOS AMBIENTALES

Lo primero que tenemos que tener claro es que la energía solar térmica es una energía renovable y que, al igual que el resto de las energías renovables, tiene numerosos beneficios medioambientales porque no producen contaminación atmosférica, de forma que el medio que lo rodea sufre un impacto muy pequeño o incluso nulo.

Además de los beneficios medioambientales, los sistemas solares contribuyen al calentamiento limpio y natural de la vivienda, son sistemas silenciosos, limpios y con una larga vida útil que proporcionan una energía descentralizada cerca de donde se necesita. Si tenemos en cuenta todos estos factores podemos observar que el confort de los usuarios será mayor frente al uso de los sistemas tradicionales.

Los sistemas solares pueden causar un único impacto desfavorable, que es el efecto visual que producen, lo que provoca un choque en su integración en el medio. Para evitar esto debemos tener muy en cuenta la integración de nuestro sistema en el edificio y en el medio que lo rodea en general, intentando seguir la envolvente del edificio e integrar de la forma menos perjudicial nuestro sistema en el edificio.

La principal ventaja medioambiental de los sistemas cuyas fuentes de energía sean renovables, tanto de los sistemas térmicos como de cualquiera cuya fuente principal de energía sea la renovable, es la drástica reducción de emisiones de CO₂ que provoca el conocido efecto invernadero.

El efecto invernadero es un fenómeno que debemos de evitar porque tiene unos graves efectos medioambientales. Este efecto es causado por un aumento en la concentración de los gases invernadero, como son:

- el dióxido de carbono (CO_2),
- los clorofluorcarbonados (CFC),
- el metano (CH_4), el óxido de nitrógeno (N_2O)
- y el ozono de la troposfera.

Este aumento de los gases invernadero provoca que al pasar la radiación solar a través de ellos, estos atrapan y mantienen el calor de la radiación infrarroja, la cual es reflejada por la superficie del suelo, de forma que aumentan así la temperatura de la atmósfera terrestre y por lo tanto la temperatura de nuestro planeta. Cabe reseñar que el 30% del efecto invernadero lo provoca el CO_2 .

Por tanto, la causa principal del efecto invernadero es el calentamiento global de la atmósfera, el cual está provocando el deshielo de los polos y el aumento constante del nivel del mar, provocando la inundación de las ciudades costeras y la pérdida de biodiversidad. Además también contribuye a la desertización de áreas cercanas a los trópicos, y por tanto, al aumento de hambrunas y conflictos internacionales. Por todo esto, es de primera necesidad que toda la sociedad se conciencie del problema y empiece a tomar medidas para evitar y disminuir estos efectos, los cuales pueden llegar a ser mucho más drásticos si no se frenan a tiempo.

La mejor forma de detener el cambio climático es intentar utilizar energías limpias o renovables, entre las que se encuentra la energía solar, e intentar no utilizar energías sucias o contaminantes, que son las que provocan el denominado efecto invernadero, como ya hemos expuesto anteriormente. Además, cabe reseñar que en el caso específico de nuestro país, la energía solar, tanto térmica como fotovoltaica, tiene un gran potencial por el clima que disfrutamos, tal y como se ha explicado en la introducción.

| Renovables | Convencionales |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">Las Energías Renovables no producen emisiones de CO₂ y otros gases contaminantes a la atmósfera. | <ul style="list-style-type: none">Las energías producidas a partir de combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) sí los producen. |
| <ul style="list-style-type: none">Las energías renovables no generan residuos de difícil tratamiento. | <ul style="list-style-type: none">La energía nuclear y los combustibles fósiles generan residuos que suponen durante generaciones una amenaza para el medioambiente. |
| <ul style="list-style-type: none">Las energías renovables son inagotables. | <ul style="list-style-type: none">Los combustibles fósiles son finitos. |

Figura 5.1. Energías renovables vs. energías convencionales.

5.2. AHORRO DE COMBUSTIBLE

La utilización de la instalación solar permitirá el aprovechamiento de la energía solar que es renovable y una disminución del gasto de combustible de la caldera. El combustible empleado en nuestra vivienda para calentar el agua de consumo es Gas Natural. Para calcular el ahorro de combustible de la instalación tendremos en cuenta la siguiente expresión:

$$Q \cdot (MJ) = V \cdot (m^3) \cdot PCI \cdot \left(\frac{MJ}{N \cdot m^3} \right) \cdot \eta_{caldera}$$

donde:

Q : energía aportada por los colectores solares (en MJ);

V : volumen de combustible (para producir toda esa energía)(en m^3);

PCI : es el poder calorífico inferior del combustible que se emplea en la instalación. En el caso del gas natural es de $39,6 \text{ MJ/N} \cdot m^3$ (**según el anexo A de la norma UNE 123-001-94**)

$\eta_{caldera}$: rendimiento de la caldera (que en este caso es de 91%).

De manera que conocemos todos los datos de la ecuación anterior menos la el gasto de combustible. Y despejando obtenemos la siguiente expresión para obtener dicho valor:

$$V(m^3) = \frac{Q}{PCI \cdot \eta_{caldera}}$$

A continuación se puede observar la tabla que muestra el ahorro de combustible por mes en metros cúbicos:

| Mes | Demanda Energética (MJ) | Aporte Energía Solar (MJ) | Ahorro de combustible (m ³) |
|--------------|-------------------------|---------------------------|---|
| Enero | 4100,99 | 928,19 | 25,76 |
| Febrero | 3537,27 | 1349,83 | 37,46 |
| Marzo | 3594,01 | 2263,94 | 62,82 |
| Abril | 3536,34 | 2968,22 | 82,37 |
| Mayo | 3415,44 | 3415,44 | 94,78 |
| Junio | 3143,05 | 3143,05 | 87,22 |
| Julio | 2832,52 | 2832,52 | 78,60 |
| Agosto | 2476,06 | 2476,06 | 68,71 |
| Septiembre | 2892,11 | 2892,11 | 80,26 |
| Octubre | 3151,34 | 2356,76 | 65,40 |
| Noviembre | 3444,31 | 1616,93 | 44,87 |
| Diciembre | 3971,68 | 944,52 | 26,21 |
| Anual | 40095,10 | 27187,56 | 754,46 |

Tabla 5.1 Ahorro de Combustible (Gas Natural).

De manera que anualmente obtenemos un ahorro total de **754,46 (m³)** de Gas Natural debido al aprovechamiento de la energía solar para el calentamiento del agua de consumo.

5.3. EMISIONES DE CO₂ EVITADAS

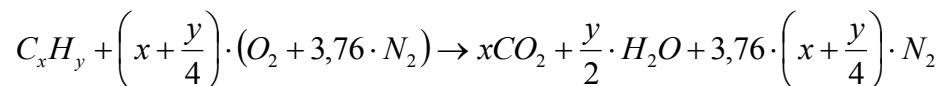
Como hemos visto anteriormente, la principal ventaja de dejar de quemar un cierto volumen de combustible, será la disminución de las emisiones contaminantes de los productos generados en su combustión.

Para continuar, debemos calcular la cantidad de CO₂ que vamos a dejar de emitir a la atmósfera debido a la utilización de la energía solar. Para ello, debemos conocer, primeramente, la composición del gas natural, que es el combustible que utiliza la caldera. Según el catálogo de Gas Natural la composición de este es la siguiente:

- 91,4% de metano (CH₄);
- 7,2% de etano (C₂H₆);
- 0,8% de hidrocarburos superiores;
- 0,6% de Nitrógeno (N₂);

Estas proporciones están expresadas en tanto por ciento en volumen. Como desconocemos la composición exacta de los hidrocarburos superiores vamos a suponer que es todo propano (C₃H₈).

Seguidamente consideraremos como una reacción estequiométrica la combustión del gas natural con aire. Por lo que los únicos productos que se producirán de la combustión serán CO₂, H₂O y N₂, siendo la cantidad de aire la justa sólo quemada para quemar completamente el combustible.



donde, x e y están expresados en moles.

Aplicaremos la ecuación de estado de los gases ideales para pasar a moles la composición de Gas Natural, ya que esta, está expresada en % en volumen.

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

donde:

- ***P***: es la presión [**Pa**].
- ***V***: es el volumen total de gas [**m³**].
- ***n***: es el número de [**moles**].
- ***R***: es la constante de los gases ideales [**J/mol·K**].
- ***T***: es la temperatura [**K**].

De este modo:

- El valor de la Presión en condiciones normales es igual a **101.325 [Pa]**, que es igual a (**1 atm**).
- El Volumen total de gas lo estimaremos en **1 [m³]**.
- El valor de la Constante de los Gases Ideales es igual a **8,314 [J/mol·K]**.
- El valor de la Temperatura en condiciones normales es igual a **298 [K]**, que es igual a (**25°C**)

Aplicando estos valores a la ecuación de estado de los gases ideales, obtenemos el número de moles totales (*n*), el cual es igual a:

$$n = 40,89 \text{ [moles]}$$

Ahora ya conocemos el número de moles totales de 1 (m³) de gas, y como también conocemos los correspondientes tantos por ciento de los componentes, podemos obtener el número de moles de cada componente simplemente con multiplicar los moles totales por el ciento (%) en volumen de cada uno, ya que la proporción en volumen es la misma que en moles. De este modo obtenemos los siguientes valores:

- **37,37** moles de metano (**CH₄**)
- **2,94** moles de etano (**C₂H₆**)
- **0,327** moles de propano (**C₃H₈**)
- **0,245** moles de hidrógeno (**N₂**)

Realizando el equilibrio de la reacción de combustión del Gas Natural, según los Carbonos, Hidrógenos, Oxígenos y Nitrógenos, obtenemos:



De la reacción anterior obtenemos el número de moles de CO₂ por (m³) de Gas Natural, que es 44,23 (moles). A continuación calcularemos la masa correspondiente a esos 44,23 moles de CO₂ aplicando la siguiente expresión:

$$n = \frac{m}{P_m}$$

donde:

- ***m***: es la cantidad de masa en gramos [**gr**].
- ***P_m***: es el peso molecular de CO₂ en gramos [**gr**].

En este caso, el Peso Molecular del CO₂ es igual a 44 [gr]. Por lo que obtenemos que la masa de CO₂ por m³ de Gas Natural será 1,946 [kg].

Una vez conocido este valor, podemos calcular las emisiones evitadas de CO₂ en [kg], sin más que multiplicarlo por el volumen de CO₂ ahorrado, calculado anteriormente.

A continuación, podemos ver la tabla que refleja los resultados obtenidos del ahorro de emisiones de CO₂ mensual y anualmente:

| Mes | Ahorro de combustible (m ³) | Ahorro de emisiones de CO ₂ (Kg) |
|--------------|---|---|
| Enero | 25,76 | 50,12 |
| Febrero | 37,46 | 72,89 |
| Marzo | 62,82 | 122,26 |
| Abril | 82,37 | 160,29 |
| Mayo | 94,78 | 184,44 |
| Junio | 87,22 | 169,73 |
| Julio | 78,60 | 152,96 |
| Agosto | 68,71 | 133,71 |
| Septiembre | 80,26 | 156,18 |
| Octubre | 65,40 | 127,27 |
| Noviembre | 44,87 | 87,32 |
| Diciembre | 26,21 | 51,01 |
| Anual | 754,46 | 1468,17 |

Tabla 5.2 Emisiones de CO₂ evitadas.

Como se puede observar en la tabla anterior, la cantidad total de emisiones anuales de CO₂, evitadas por el uso de la energía solar, es de **1468,17 (kg/año)**.

De todo esto podemos deducir que el uso de energía solar térmica para este tipo de instalaciones es muy beneficioso para el medioambiente, como era nuestro objetivo.

6. ESTUDIO ECONÓMICO.

6. ESTUDIO ECONÓMICO

En relación con los sistemas convencionales se ha de considerar que la energía solar térmica resulta económicamente más ventajosa, teniendo en cuenta la vida útil de ambos sistemas.

Por ello, la inversión inicial será mayor que la empleada en un sistema convencional. No obstante, el coste de funcionamiento durante los años de vida de dicha instalación (20 años aproximadamente) será insignificante comparado con el sistema convencional, ya que, éste requiere otros costes adicionales como son la compra de combustible, reparaciones con costes muy elevados, etc.

Así, teniendo en cuenta lo anteriormente citado, la energía solar resulta más ventajosa dentro del plano económico. Esto es debido a que, la energía que obtengamos del sol a través de los captadores nos evitará el tener que producirla quemando combustible en la caldera.

De esta manera el ahorro energético que supone una instalación de energía solar dará lugar a un ahorro económico, siendo más rentable a lo largo de los años, lo cual permite amortizar el coste de la instalación. Una vez amortizado dicho coste el ahorro que genera dicha instalación será percibido como un ahorro “limpio”.

Además, para evaluar el ahorro económico debemos tener en cuenta que éste varía en función del tipo de combustible que utiliza la caldera para obtener el ACS, teniendo en cuenta la energía que proporciona dicho combustible, el rendimiento de la instalación convencional y el coste de adquisición del combustible, el cual puede variar con el paso de los años, pero se le supone un incremento anual ascendente más que probable.

Aquellas instalaciones solares térmicas que no cubren por completo las necesidades se rentabilizan antes que aquellas que sobrepasan las necesidades de uso del sistema, debido a que, en la primera toda la energía que producen los captadores es contabilizada como ahorro, y en la segunda el exceso de energía solar producida sobre la demanda no computa como ahorro.

Así debemos centrarnos en la inversión a energía útil anual producida, es decir, nos interesa analizar su amortización más que ver la cantidad de energía que ahorra una instalación.

De este modo, puede resultar más atractivo destinar la instalación solar a la calefacción antes que al ACS, ya que la calefacción supone un mayor gasto en relación con el ACS.

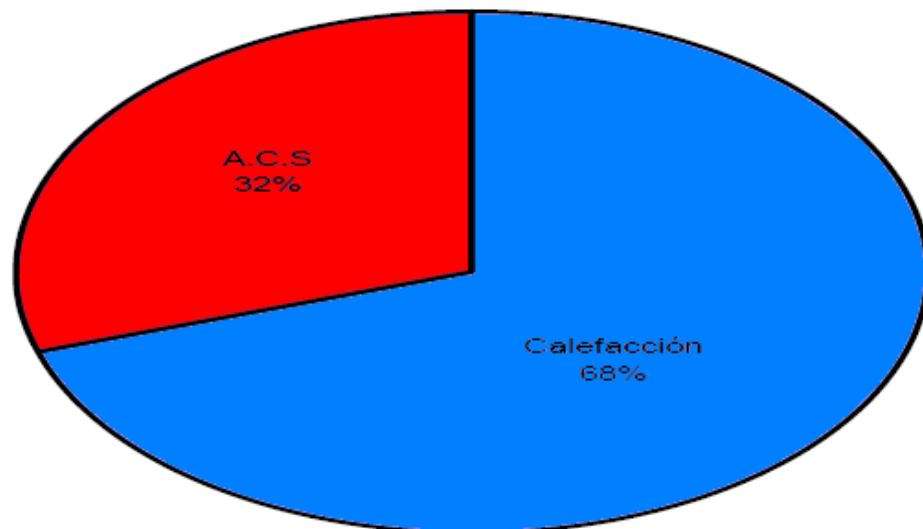


Figura 6.1. Distribución del consumo doméstico de origen térmico.

La demanda de ACS tiene lugar durante los 12 meses del año. De esta forma, la instalación solar ahorra energía durante todo el año sin que sobre en exceso, por norma general. Sin embargo, en el caso de la calefacción, la inversión será superior y deberá amortizarse con el ahorro de sólo 6-7 meses que coincide con los meses de menor radiación solar.

Por todo ello, el ahorro energético, y en consecuencia de ello el ahorro económico, será mayor en el primer caso que en el segundo. Por lo tanto, la instalación solar térmica será más rentable, es decir se amortizará antes.

Como conclusión, destacar la importancia, a la hora de ejecutar una instalación solar, de analizar la amortización de la misma, dejando en un segundo plano el ahorro económico que produce.



6.1. PRESUPUESTO

| Cantidad | Elemento. | €/unidad | Total |
|-------------------|--|----------|------------|
| | Descripción. | | |
| CIRCUITO PRIMARIO | | | |
| 4 | <div>Paneles Solares</div> <div>ESCOSOL SOL 2300 Selectivo Titan. Fabricante Salvador Escoda.</div> | 505,00 € | 2.020,00 € |
| 6 | <div>Conexiones Paneles</div> <div>Tipo Conex de 22 mm. Artesa</div> | 9,81 € | 58,86 € |
| 2 | <div>Racord conexión Paneles</div> <div>Unión macho-macho (machón), rosca 3/4". Salvador Escoda.</div> | 1,79 € | 3,58 € |
| 2 | <div>Soportes Captadores</div> <div>Soportación integración entreteja.</div> | 602,00 € | 1.204,00 € |
| 1 | <div>Vaso Expansión</div> <div>Modelo 18 CMS-SO de 18 litros de capacidad. Fabricante Salvador Escoda.</div> | 31,00 € | 31,00 € |
| 1 | <div>Bomba de Circulación Solar</div> <div>Grundfos UPS 25-40 130.</div> | 202,76 € | 202,76 € |

| Cantidad | Elemento. | €/unidad | Total |
|----------|--|------------|-------------------|
| | Descripción. | | |
| | <u>Kit Accesorios Conexión</u> | | |
| 1 | Accesorios de conexión bomba-vaso de expansión. Incluye: caudalímetro, sistema de regulación, termómetro, manómetro, válvula antirretorno y un kit de fijación para el vaso de expansión. | 64,30 € | 64,30 € |
| | <u>Disipador de Calor</u> | | |
| 1 | Aerotermo. ESCOSOL BD 56 de 56 W del fabricante SALVADOR ESCODA. | 1.620,34 € | 1.620,34 € |
| | <u>Válvula de Seguridad</u> | | |
| 2 | Rosca 3/4". Regulable de a 8 bar. Salvador Escoda. | 29,95 € | 59,90 € |
| | <u>Embudo de Descarga</u> | | |
| 2 | Rosca 3/4". Salvador Escoda. | 18,15 € | 36,30 € |
| | <u>Válvula Antirretorno</u> | | |
| 1 | Clapeta cierre goma, de 3/4". Salvador Escoda | 6,41 € | 6,41 € |
| | <u>Válvula de Bola</u> | | |
| 4 | Latón Hembra/Hembra, 3/4", Pmax= 25 bar. Salvador Escoda. | 5,91 € | 23,64 € |



| Cantidad | Elemento. | €/unidad | Total |
|----------|--|----------|------------|
| | Descripción. | | |
| 1 | <p style="text-align: center;"><u>Purgador</u></p> <p>Purgador automático modelo PURG-O-MAT 150 SOLAR de Salvador Escoda.</p> | 8,89 € | 8,89 € |
| 1 | <p style="text-align: center;"><u>Regulador Térmico Diferencial</u></p> <p>ESCOSOL ,modelo RD-MU/3 de la marca Mundocontrol. Salvador Escoda.</p> | 123,00 € | 123,00 € |
| 3 | <p style="text-align: center;"><u>Sonda de Temperatura</u></p> <p>Sonda de inmersión, marca Siemens, modelo QAE21210.0100. Salvador Escoda.</p> | 76,70 € | 230,10 € |
| 2 | <p style="text-align: center;"><u>Manómetro</u></p> <p>Medidor de Presión, (0-10 bar). Incluye llave de bola.</p> | 28,43 € | 56,86 € |
| 42 | <p style="text-align: center;"><u>Tubería de Cobre</u></p> <p>MI. Tubería cobre rígido de Dext=3/4", incluso puesta a punto de soldadura dura o blanda según corresponda, codos, tes, manguitos y demás accesorios y pequeño material, aislada con Aislamiento tubular flexible K-FLEX SOLAR forrado PVC de Salvador Escoda, de espesor nominal de 20 mm, en los tramos interiores y de 30 mm en los tramos exteriores, recubierta de pintura protectora exterior del aislante, medida la unidad ejecutada, totalmente montada, probada y funcionando.</p> | 31,56 € | 1.325,52 € |

| Cantidad | Elemento. | €/unidad | Total |
|----------|--------------|----------|-------|
| | Descripción. | | |

| CIRCUITO SECUNDARIO | | | |
|---------------------|---|------------|-------------------|
| 1 | <u>Intercambiador</u> Alafa Laval M3 FM L | 547,00 € | 547,00 € |
| 1 | <u>Acumulador Solar</u> IDROGAS CV 500 SV. Salvador Escoda. | 1.515,00 € | 1.515,00 € |
| 1 | <u>Bomba</u> Grundfos UPS 25-25 180. | 205,00 € | 205,00 € |
| 1 | <u>Caldera de Gas para Solar</u> Modelo DOMIPROJECT, Ferroli. Potencia nominal 7-23,5 kW. Salvador Escoda. | 943,00 € | 943,00 € |
| 1 | <u>Acumulador de Caldera</u> IDROGAS CV 200 SV. 200 litros da capacidad. Salvador Escoda. | 891,00 € | 891,00 € |
| 2 | <u>Sonda de Temperatura</u> Sonda de inmersión, marca Siemens , modelo QAE21210.0100. Salvador Escoda. | 76,70 € | 153,40 € |



| Cantidad | Elemento. | €/unidad | Total |
|----------|--|----------|----------|
| | Descripción. | | |
| 1 | <u>Manómetro</u> Medidor analógico de Presión, (0-10 bar). Incluye llave de bola. | 28,43 € | 28,43 € |
| 1 | <u>Purgador Automático</u> Purgador automático modelo PURG-O-MAT 150 SOLAR de Salvador Escoda. | 8,89 € | 8,89 € |
| 4 | <u>Válvula de Bola</u> Latón Hembra/Hembra, 3/4", Pmax= 25 bar. Salvador Escoda. | 5,91 € | 23,64 € |
| 1 | <u>Válvula de Seguridad</u> Rosca 3/4". Regulable de a 8 bar. Salvador Escoda. | 29,95 € | 29,95 € |
| 1 | <u>Embudo de Descarga</u> Rosca 3/4". Salvador Escoda. | 18,15 € | 18,15 € |
| 1 | <u>Conexiones de equipos</u> Ud. Partida alzada para la interconexion de equipos de acumulacion e intercambio con circuito hidraulico de la instalacion, con sus correspondientes juntas y enganches. | 547,00 € | 547,00 € |

| Cantidad | Elemento. | €/unidad | Total |
|-------------------------------|---|------------|--------------------|
| | Descripción. | | |
| 3 | <u>Tubería Cobre</u> | 31,56 € | 94,68 € |
| | MI. Tubería cobre rígido de Dext=3/4" , incluso puesta a punto de soldadura dura o blanda según corresponda, codos, tes, manguitos y demás accesorios y pequeño material, aislada con Aislamiento tubular flexible K-FLEX SOLAR forrado PVC de Salvador Escoda, de espesor nominal de 20 mm , en los tramos interiores, recubierta de pintura protectora exterior del aislante, medida la unidad ejecutada, totalmente montada, probada y funcionando. | | |
| 1 | <u>Proyecto de la Instalación</u> Trabajo de cálculo y diseño de la instalación. | 1.300,00 € | 1.300,00 € |
| TOTAL PRESUPUESTO..... | | | 13.380,60 € |

6.2. SUBVENCIONES

La Comunidad Autónoma de Extremadura, dentro del ámbito de competencias atribuidas por su Estatuto de Autonomía, viene desarrollando desde hace varios años diferentes programas e iniciativas que tienen como objetivo fundamental potenciar el desarrollo de las energías renovables concienciando a la ciudadanía extremeña en el aprovechamiento de estos recursos y contribuyendo de este modo con la protección del medio ambiente.

En este sentido la Junta de Extremadura firmó, el 21 de noviembre de 2008, un Convenio de Colaboración con el IDAE para la definición y puesta en práctica de las actuaciones de apoyo público contempladas en el Plan de Energías Renovables en el ámbito territorial de la Comunidad Autónoma de Extremadura en el ejercicio de 2008.

Dicho Plan de Energías Renovables, como ya hemos dicho anteriormente, promueve el uso de la Energía Solar, y ofrece subvenciones a los usuarios que quieran disponer de una Instalación Solar Térmica, entre otras acciones subvencionables.

6.2.1. OBJETO:

El objeto del presente Decreto es regular las bases para la concesión de ayudas para la promoción de las energías renovables de uso propio, en el ámbito territorial de la Comunidad Autónoma de Extremadura.

Una de las actuaciones objeto de subvención es:

La energía Solar Térmica:

Aprovechamiento de la energía solar en edificios ya existentes mediante sistemas solares térmicos activos para producción de agua caliente, apoyo a calefacción, climatización, así como para aplicaciones en procesos productivos industriales, agrícolas, ganaderos, forestales y extractivas.

La existencia del edificio se acreditará mediante certificado del Ayuntamiento correspondiente en tal sentido.

6.2.2. BENEFICIARIOS:

Podrán solicitar y, en su caso, obtener las ayudas públicas contempladas en este Decreto:

a) Las personas físicas.

b) Comunidades de vecinos.

c) Empresas.

d) Corporaciones Locales.

e) Entidades sin ánimo de lucro.

Siempre que desarrollen la actividad subvencionable en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Extremadura, reúnan los requisitos establecidos en el artículo 11 de la Ley 38/2003, de 17 de noviembre, General de Subvenciones, y no se encuentren incurso en las prohibiciones que para obtener dicha condición se establecen en el artículo 13, apartados 2 y 3 de la citada Ley, así como concurrir las circunstancias previstas en las presentes bases.

6.2.3. ANEXO SOBRE ACTUACIONES SUBENCIONABLES:

ACTUACIONES SUBVENCIONABLES:

B) SOLAR TÉRMICA:

B.1. Aprovechamiento de la energía solar en edificios ya existentes mediante sistemas solares térmicos activos para producción de agua caliente, apoyo a la calefacción, climatización, así como para aplicaciones en procesos productivos industriales, agrícolas, ganaderos, forestales y extractivas.

La existencia del edificio se acreditará mediante certificado del Ayuntamiento correspondiente en tal sentido.

B.2. Ámbito de aplicación:

- Instalaciones por elementos: Sistemas de energía solar para calentamiento de un fluido a partir de la captación de la radiación solar, mediante captadores solares cuyo coeficiente global de pérdidas sea inferior a $9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, para su utilización en aplicaciones térmicas.

- Instalaciones con sistemas prefabricados: Sistemas indirectos de energía solar para calentamiento de un fluido a partir de la captación de la radiación solar, bien sea como sistema compacto o como sistema partido. Consiste bien en un sistema integrado o bien en un conjunto y configuración uniforme de componentes. Se produce bajo condiciones que se presumen uniformes y ofrecidas a la venta como equipos completos y listos para instalar, bajo un solo nombre comercial. Los captadores solares tendrán un coeficiente de pérdidas inferior a $9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. No se consideran elegibles los equipos directos.

- Aplicaciones especiales: Aplicaciones de refrigeración u otras aplicaciones con temperatura de diseño superior a 60 °C, y superando rendimientos del 40%, para $(t_m - t_a) = 60$ °C y $I = 800$ W/m² sobre la curva cuadrática de certificación del captador.

- Proyectos innovadores: Se consideran proyectos innovadores aquellos que cumplan los criterios definidos en el apartado de energía solar térmica del Plan de Energías Renovables 2005-2010.

B.3. Cuantía máxima de subvención:

- Hasta el 37% del coste de referencia.
- El coste de referencia por unidad de potencia de captación instalada y según las características de cada proyecto, se tomará según la siguiente tabla:

| Categoría | Coste de referencia €/Kw. * (€/m²) | | Ayuda máxima /Coste de referencia |
|-------------------------|---|------------------------|-----------------------------------|
| Sistemas prefabricados | 1.160 €/kW. (812 €/m²) | | 37% |
| Sistema por elementos | Hasta 14 kW (20 m²) | 1.160 €/kW (812 €/m²) | |
| | Más de 14 kW (20 m²) | 1.015€/kW (710,5 €/m²) | |
| Aplicaciones especiales | 1.450 €/kW (1.015 €/m²) | | |
| Proyectos innovadores | Hasta un 50% más de los costes de referencia definidos anteriormente. | | |

Tabla 6.1. Cuantía máxima de subvenciones del PER Extremadura.

Se considera la relación 0,7 (kW/m²) de superficie de absorbedor del captador certificada.

Estas ayudas y costes de referencia aplican de igual forma, a la fracción solar correspondiente, para instalaciones híbridas solar térmica + biomasa térmica.

En cualquier caso se considera que una instalación solar térmica está hibridada con una de biomasa térmica, siempre que compartan elementos básicos y que la cobertura de las necesidades para las que están diseñadas se lleve a cabo fundamentalmente a partir de estas dos fuentes.

B.4. Se considerarán costes subvencionables los siguientes:

- Campo de captación solar: compuesto por captadores solares, elementos de soporte y fijación de los captadores, elementos de interconexión entre captadores, etc.
- Acumulación: compuesto de tanques de almacenamiento, intercambiadores, vasos de expansión, bombas, tuberías, etc.
- Regulación, Control y Monitorización (opcional): compuesto por equipos de regulación, sensores, sistemas de adquisición de datos, etc.
- Obra civil asociada: compuesta por movimientos de tierra, cimentaciones, zanjas, etc.

B.5. Con el fin de cumplir las directrices comunitarias sobre medio ambiente se establecen los siguientes criterios para el cálculo de inversiones adicionales y costes subvencionables de las instalaciones:

Los costes subvencionables objeto de ayuda se limitarán estrictamente a los costes de inversiones adicionales realizadas para alcanzar los objetivos energéticos y medioambientales. Por tanto, dichos costes estarán compuestos por los costes suplementarios respecto de una instalación de generación con energía tradicional de la misma capacidad en términos de generación efectiva de energía. A estos efectos, se considerará especialmente el coste de una inversión tradicional que, aunque comparable desde un punto de vista técnico, no permita alcanzar los mismos objetivos de protección medioambiental.

6.2.4. CUANTÍA DE LA SUBVENCIÓN.

La Instalación de Energía Solar Térmica para el suministro de Agua Caliente Sanitaria estará dirigida a una Comunidad de Propietarios. Así, consultando la tabla 6.1. Cuantía máxima de subvenciones del Plan de Energías Renovables de Extremadura y las condiciones de las subvenciones, estimamos que la cuantía para nuestra instalación será del orden de 37% del presupuesto. Es decir:

$$37\% \text{ presupuesto} = 4950,82\text{€}$$

De este modo la ***Inversión ha realizar por los usuarios de la instalación***, es decir, por la Comunidad de Propietarios a la que va dirigida será la siguiente:

$$\text{Presupuesto} - \text{Subvención} = 8429,78\text{€}$$

6.3. PERIODO DE AMORTIZACIÓN

El **periodo de amortización** es el tiempo que tardaríamos en recuperar el gasto realizado. Dicho gasto, será la diferencia de coste entre la instalación solar y la instalación convencional de A.C.S..

Para la realización de dicha diferencia necesitamos conocer el ahorro anual que se desprende de la utilización de la energía solar. Los datos que necesitamos conocer son los siguientes:

- **La energía solar útil anual:** A continuación se puede observar la tabla que refleja la energía solar útil anual y mensualmente, así como el promedio anual de la misma:

| Mes | Energía Solar (MJ) | Energía Solar (kW/h) |
|------------|--------------------|----------------------|
| Enero | 928,19 | 257,83 |
| Febrero | 1349,83 | 374,95 |
| Marzo | 2263,94 | 628,87 |
| Abril | 2968,22 | 824,50 |
| Mayo | 3415,44 | 948,73 |
| Junio | 3143,05 | 873,07 |
| Julio | 2832,52 | 786,81 |
| Agosto | 2476,06 | 687,79 |
| Septiembre | 2892,11 | 803,36 |
| Octubre | 2356,76 | 654,65 |
| Noviembre | 1616,93 | 449,15 |
| Diciembre | 944,52 | 262,37 |
| Media Año | 2265,63 | 629,34 |
| Total Año | 27187,56 | 7552,10 |

Tabla 6.2. Energía Solar útil.

El **ahorro energético** obtenido anualmente es de **7552,1 (kW·h)**.

- La tarifa de gas natural es de 0,048€ por cada KW·h (incluidos los impuestos).

Una vez conocidos estos datos ya podemos determinar el ahorro económico anual (Cash Flow) que obtendremos gracias a nuestra instalación solar:

$$\frac{Ahorro_{anual}(kW \cdot h)}{\eta_{caldera}} \cdot tarifa_{gasnatural}(\text{€/kW} \cdot h) = \frac{7552,1}{0,91} \cdot 0,048 = 398,35 \cdot (\text{€/año})$$

A continuación aplicaremos el método de evaluación de inversiones. El método que utilizaremos será el del Valor Actual Neto (VAN), que se define como un método que proporciona una valoración financiera en el momento actual de los flujos de caja netos, proporcionados por la inversión; es decir presenta una relación entre los ingresos y los gastos de una inversión en función del tiempo. Y tiene la siguiente expresión:

$$VAN = -I_0 + \frac{F_1}{(1+i)} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+i)^n}$$

donde:

- I_0 : es la inversión inicial.
- F : es el flujo de caja o balance de caja.
- i : es la tasa de rentabilidad de la inversión, en este tipo de inversiones el principal objetivo de la instalación no va a ser ganar dinero, por lo que tomaremos como i el interés del dinero que en la actualidad se fija en $i=4\%$.
- n : es el número de años previsto para amortizar la instalación.

Cuando el VAN toma valor cero significa que los ingresos han igualado a los gastos y por tanto, se ha amortizado la instalación.

Por tanto, para que la inversión resulte rentable el valor del VAN debe ser positivo, es decir, para conocer el número de años que necesitamos para amortizar la inversión bastaría con igualar el VAN a cero y despejar n . Al no poder despejar directamente, realizaremos el cálculo de forma iterativa hasta que la expresión utilizada sea cero o positiva.

Una vez realizado dicho proceso iterativo con n y sabiendo que F es el ahorro anual, I_0 la diferencia de coste entre la instalación solar y la instalación convencional de A.C.S (398,35 €/año) e i el tipo de descuento, se obtiene el periodo de amortización.

El periodo de amortización obtenido para nuestra instalación es de **16 años**.

A continuación podemos observar la gráfica que muestra como el VAN se iguala a cero en 16 años, quedando amortizada la instalación, y siendo todo beneficios a partir de ese momento.



Figura 6.2. Evolución del VAN de nuestra instalación.



7. MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN SOLAR.

7. MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN SOLAR

Para realizar la planificación del mantenimiento de la instalación solar, tomaremos como referencia lo exigido por el Código Técnico de la Edificación, así como lo indicado por el Plan Solar de Extremadura, que nos remite al Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura del IDAE.

Lo exigido en ambos documentos es muy parecido entre sí y, de hecho, en muchas ocasiones son exactamente idénticos, pero en los casos en los que difieran tomaremos la condición más restrictiva, para así dar un mejor mantenimiento y por lo tanto un mejor funcionamiento de la instalación solar.

A continuación comenzaremos a definir el Programa de Mantenimiento de la instalación solar, el cual tiene por objeto definir las condiciones generales mínimas que deben seguirse para el adecuado mantenimiento de las instalaciones de energía solar térmica para producción de agua caliente.

Se definen tres escalones de actuación para englobar todas las operaciones necesarias durante la vida útil de la instalación para asegurar el funcionamiento, aumentar la fiabilidad y prolongar la duración de la misma:

- Vigilancia
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento correctivo

**7.1. PLAN DE VIGILANCIA**

El plan de vigilancia se refiere básicamente a las operaciones que permiten asegurar que los valores operacionales de la instalación sean correctos. Es un plan de observación simple de los parámetros funcionales principales, para verificar el correcto funcionamiento de la instalación. Será llevado a cabo, normalmente, por el usuario, que asesorado por el instalador, observará el correcto comportamiento y estado de los elementos, y tendrá un alcance similar al descrito en la tabla siguiente:

| Elemento de la instalación | Operación | Frecuencia (meses) | Descripción |
|----------------------------|---|--------------------|---|
| CAPTADORES | Limpieza de cristales | A determinar | Con agua y productos adecuados |
| | Cristales | 3 | IV condensaciones en las horas centrales del día. |
| | Juntas | 3 | IV Agrietamientos y deformaciones. |
| | Absorbedor | 3 | IV Corrosión, deformación, fugas, etc. |
| | Conexiones | 3 | IV fugas. |
| CIRCUITO PRIMARIO | Estructura | 3 | IV degradación, indicios de corrosión. |
| | Tubería, aislamiento y sistema de llenado | 6 | IV Ausencia de humedad y fugas. |
| | Purgador manual | 3 | Vaciar el aire del botellín. |
| CIRCUITO SECUNDARIO | Termómetro | Diaria | IV temperatura |
| | Tubería y aislamiento | 6 | IV ausencia de humedad y fugas. |
| | Acumulador solar | 3 | Purgado de la acumulación de lodos de la parte inferior del depósito. |

⁽¹⁾ IV: inspección visual

Tabla 7.1. Plan de Vigilancia.

7.2. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Son operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otras, que aplicadas a la instalación deben permitir mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la misma.

El mantenimiento preventivo implicará, como mínimo, una revisión anual de la instalación para aquellas instalaciones con una superficie de captación inferior a 20 m² y una revisión cada seis meses para instalaciones con superficie de captación superior a 20 m².

El plan de mantenimiento debe realizarse por personal técnico especializado que conozca la tecnología solar térmica y las instalaciones mecánicas en general. La instalación tendrá un libro de mantenimiento en el que se reflejen todas las operaciones realizadas, así como el mantenimiento correctivo.

El mantenimiento preventivo ha de incluir todas las operaciones de mantenimiento y sustitución de elementos fungibles o desgastados por el uso, necesarias para asegurar que el sistema funcione correctamente durante su vida útil.

En las **Tablas 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6** se definen las operaciones de mantenimiento preventivo que deben realizarse en las instalaciones de energía solar térmica para producción de agua caliente, la periodicidad mínima establecida (en meses) y descripciones en relación con las prevenciones a observar.



| Equipo | Frecuencia (meses) | Sistema de captación |
|-------------|-----------------------|---|
| | | Descripción |
| Captadores | 6 | IV diferencias sobre original. |
| Cristales | 6 | IV diferencias entre captadores. |
| Juntas | 6 | IV condensaciones y suciedad |
| Absorbedor | 6 | IV agrietamientos, deformaciones |
| Carcasa | 6 | IV corrosión, deformaciones |
| Conexiones | 6 | IV deformación, oscilaciones, ventanas de respiración |
| Estructura | 6 | IV aparición de fugas |
| Captadores* | 6 | IV degradación, indicios de corrosión, y apriete de tornillos |
| Captadores* | 12 | Tapado parcial del campo de captadores |
| Captadores* | 12 | Destapado parcial del campo de captadores |
| Captadores* | 12 | Vaciado parcial del campo de captadores |
| Captadores* | 12 | Llenado parcial del campo de captadores |

* Operaciones a realizar en el caso de optar por las medidas b) o c) del apartado 2.1.
(1) IV: inspección visual

Tabla 7.2. Preventivos Sistema de Captación.

| Equipo | Frecuencia (meses) | Sistema de acumulación |
|-----------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| | | Descripción |
| Depósito | 12 | Presencia de lodos en fondo |
| Ánodos sacrificio | 12 | Comprobación del desgaste |
| Ánodos de corriente impresa | 12 | Comprobación del buen funcionamiento |
| Aislamiento | 12 | Comprobar que no hay humedad |

Tabla 7.3. Preventivos Sistema de Acumulación.

| Equipo | Frecuencia (meses) | Sistema de intercambio |
|-----------------------------|-----------------------|------------------------------|
| | | Descripción |
| Intercambiador de placas | 12 | CF eficiencia y prestaciones |
| | 12 | Limpieza |
| Intercambiador de serpentín | 12 | CF eficiencia y prestaciones |
| | 12 | Limpieza |

(1) CF: control de funcionamiento

Tabla 7.4. Preventivos Sistema de Intercambio.

| Equipo | Frecuencia (meses) | Circuito hidráulico |
|---------------------------|-----------------------|--|
| | | Descripción |
| Fluido refrigerante | 12 | Comprobar su densidad y pH |
| Estanqueidad | 24 | Efectuar prueba de presión |
| Aislamiento al exterior | 6 | IV degradación protección uniones y ausencia de humedad |
| Aislamiento al interior | 12 | IV uniones y ausencia de humedad |
| Purgador automático | 12 | CF y limpieza |
| Purgador manual | 6 | Vaciar el aire del botellín |
| Bomba | 12 | Estanqueidad |
| Vaso de expansión cerrado | 6 | Comprobación de la presión |
| Vaso de expansión abierto | 6 | Comprobación del nivel |
| Sistema de llenado | 6 | CF actuación |
| Válvula de corte | 12 | CF actuaciones (abrir y cerrar) para evitar agarrotamiento |
| Válvula de seguridad | 12 | CF actuación |

⁽¹⁾ IV: inspección visual
⁽²⁾ CF: control de funcionamiento

Tabla 7.5. Preventivos Circuito Hidráulico.

| Equipo | Frecuencia (meses) | Sistema eléctrico y de control |
|------------------------------------|-----------------------|---|
| | | Descripción |
| Cuadro eléctrico | 12 | Comprobar que está siempre bien cerrado para que no entre polvo |
| Control diferencial | 12 | CF actuación |
| Termostato | 12 | CF actuación |
| Verificación del sistema de medida | 12 | CF actuación |

⁽¹⁾ CF: control de funcionamiento

Tabla 7.6. Preventivos Sistema eléctrico y de control.

| Equipo | Frecuencia (meses) | Sistema de energía auxiliar |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|
| | | Descripción |
| Sistema auxiliar | 12 | CF actuación |
| Sondas de temperatura | 12 | CF actuación |

⁽¹⁾ CF: control de funcionamiento

Tabla 7.7. Preventivos Sistema de Energía Auxiliar.

Dado que el sistema de energía auxiliar no forma parte del sistema de energía solar propiamente dicho, sólo será necesario realizar actuaciones sobre las conexiones del primero a este último, así como la verificación del funcionamiento combinado de ambos sistemas.

Se deja un mantenimiento más exhaustivo para la empresa instaladora del sistema auxiliar.

7.3. MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Son operaciones realizadas como consecuencia de la detección de cualquier anomalía en el funcionamiento de la instalación, en el plan de vigilancia o en el de mantenimiento preventivo.

Incluye la visita a la instalación, en los mismos plazos máximos indicados en el apartado de Garantías, cada vez que el usuario así lo requiera por avería grave de la instalación, así como el análisis y presupuestación de los trabajos y reposiciones necesarias para el correcto funcionamiento de la misma.

Los costes económicos del mantenimiento correctivo, con el alcance indicado, forman parte del precio anual del contrato de mantenimiento. Podrán no estar incluidas ni la mano de obra, ni las reposiciones de equipos necesarias.



8. RESUMEN Y CONCLUSIONES.

Debido a las necesidades que debe cumplir el fluido caloportador para evitar deterioros por congelación en la instalación, se mezclará agua con anticongelante, lo que evidentemente, provoca que dicho fluido se contamine y no se pueda utilizar para consumo humano. Por este motivo el circuito primario es un circuito cerrado. El fluido caloportador que circula por el circuito primario será siempre el mismo, y no tendrá contacto directo con el fluido del circuito secundario o de consumo.

Una bomba es la encargada de hacer recircular el fluido caloportador por el circuito primario para extraer la energía calorífica de los captadores.

Debido a las condiciones de consumo, evidentemente, el calor que se va obteniendo puede no coincidir con el demandado por la instalación, por tanto, habrá que almacenar el fluido caloportador, con su carga térmica transmitida en los colectores por medio de la radiación recibida por estos, en un depósito de Agua Sanitaria para cuando la demande la instalación.

Para evitar cualquier posible contacto del fluido caloportador del circuito primario con el del secundario instalaremos un intercambiador de calor de placas, que realiza la transferencia de energía térmica entre los dos fluidos, sin llegar a haber contacto físico entre ambos, y aumentando la energía térmica del circuito secundario. El fluido del circuito secundario se almacena en el depósito acumulador, con su carga térmica, para cuando las necesidades de consumo de la instalación la demanden.

En el caso de que los colectores solares estén a menor temperatura que el depósito de acumulación, se parará la bomba hasta que la temperatura de los colectores sea unos grados mayor que la del depósito de acumulación, evitando que se produzca una pérdida de energía térmica, proceso inverso al deseado, o se produzca un intercambio con un rendimiento muy bajo, a pesar de ser mayor la temperatura de los colectores, debido a la escasa diferencia de temperatura entre ambos.

Durante muchos meses del año, los captadores no son capaces de calentar todo el depósito de acumulación, debido a las fluctuaciones que sufren tanto la radiación solar, como el caudal de consumo. Por tanto para compensar este déficit de energía térmica recurrimos a la energía de siempre, la convencional, que por medio de una **caldera de gas** conectada a la salida del acumulador generará el calor que falta para asegurar la temperatura deseada por el consumo.

De este modo, toda la energía térmica obtenida del sistema es energía que no tiene que generar la caldera, por lo que la caldera tendrá un **consumo de gasoil mucho menor**, lo que provocará, además, un **descenso de la contaminación**. Además, la instalación es independiente del tipo caldera (termo eléctrico, caldera, bomba de calor, etc.) y energía convencional utilizada (gasóleo, gas natural, propano, etc.)

En el caso contrario, cuando el depósito se encuentre a la temperatura deseada y los captadores sigan recibiendo la radiación solar, se producirá un exceso de energía térmica, que provocará que se cierre el paso de los captadores al intercambiador y se haga recircular el fluido caloportador, con una carga térmica elevada por un disipador de calor, que en nuestro caso es un aerotermo, el cual disipará dichos excesos de energía térmica evitando daños en la instalación por sobrecalentamiento. Esta derivación del caudal al aerotermo la realizará una **válvula de tres 3 vías automática** que será controlada por el termostato diferencial de control de la instalación.

El termostato diferencial, por tanto controlará, y marcará, tanto el arranque de bombas como el funcionamiento de la válvula de tres vías automática para realizar el bypass del fluido caloportador al aerotermo.

Por tanto, el sistema solar debe generar, acumular y consumir, diariamente, la energía demandada, evitando los sobrecalentamientos, y por tanto, el mal funcionamiento y el deterioro de la instalación. Además de evitar que se produzcan congelaciones en el circuito primario.

8.2. CONCLUSIONES

8.2.1. CÁLCULOS DE DISEÑO

A continuación, de forma muy escueta, resumimos los parámetros más característicos que definen la instalación dimensionada:

- **Demanda energética:** Para calcular la demanda energética mensualmente hemos estimado una ocupación media del edificio de 24 personas, y un consumo diario por persona de 22(l/día), como marca el Código Técnico de la Edificación.

Por tanto la demanda energética La demanda energética anual de nuestro edificio será de **40095,1·MJ**.

- Siguiendo las indicaciones del Código Técnico de la Edificación, calculamos el **área de captación** necesaria para cubrir la demanda energética, y obtenemos un área de **8,64·m²** que cubriremos con **4 colectores** solares conexcionados en **paralelo** interior y dispuestos en una sola batería. La orientación será al sur geográfico con una **inclinación de 25°** respecto a la horizontal, que es la propia del tejado del edificio.

El aporte de **energía solar** obtenido con esta superficie captadora instalada es de **28508,71·MJ**.

- La instalación se dividirá en dos circuitos. El circuito primario será donde el calor generado en los colectores solares se transferirá a un fluido portador de calor compuesto por agua y propilenglicol (30%). Este fluido caloportador conducirá, con ayuda de una bomba de circulación, el calor hasta un intercambiador de calor externo donde lo transferirá al agua de consumo. Además este circuito constará de un vaso de expansión para absorber las dilataciones producidas en el fluido caloportador por el salto de temperaturas, y también de todos los elementos

necesarios para el correcto funcionamiento del circuito, como válvulas, sondas de temperatura, manómetros...Todas las conducciones serán en tubería de cobre de $\frac{3}{4}$ ", las cuales irán calorifugadas; los tramos interiores con 20mm y los exteriores con 30 mm de aislante térmico, para protegerlas de las bajas temperaturas y evitar congelaciones en el circuito.

- El **circuito secundario** estará formado por un **acumulador solar**, el cual almacenará el calor transferido por el fluido caloportador al agua de consumo en el intercambiador externo. Para que el intercambio de calor se realice debe existir una circulación que nos aportará la bomba de recirculación. Posteriormente éste agua de consumo pasará al acumulador de caldera donde se calentará hasta los 60°C que impone la normativa vigente. Este calentamiento se realizará en el sistema de energía auxiliar, que en este caso es una **caldera de gas** (gas natural) que ha de proporcionar a la instalación una **energía auxiliar** anual de **12907,54·MJ**. Al igual que el circuito primario, el secundario constará con los elementos reguladores necesarios para el correcto funcionamiento de la instalación.
- Para que el funcionamiento del circuito primario sea el correcto realizaremos una regulación mediante un regulador térmico diferencial que controlará el funcionamiento del mismo. Para esto es fundamental tener un total conocimiento y control sobre las temperaturas que están sufriendo sus elementos, para así evitar sobrecalentamientos perjudiciales para la instalación. El regulador térmico diferencial será el encargado de dar la orden de arranque/parada a la bomba del circuito primario si la diferencia de temperatura entre la salida de los colectores y la del acumulador es mayor de un determinado valor.

- A la hora de diseñar el circuito primario debemos tener en cuenta un aspecto importante, como es el problema de la legionela. Por tanto, se tendrán en cuenta las recomendaciones del **informe UNE 100.030 IN (2001) sobre legionela**, el cual exige acumular el Agua Caliente Sanitaria a una temperatura a 60°C para evitar el desarrollo de dicha bacteria.

Esta temperatura se no se alcanzará en el acumulador solar, ya que no se puede garantizar, debido a las fluctuaciones que sufre la temperatura del fluido caloportador del circuito primario, provocado por la discontinua recepción de radiación solar, energía térmica, recibida en los colectores. Así no será un dato relevante, ya que el fluido de consumo (A.C.S.) del circuito secundario y el fluido caloportador del secundario no se mezclan, por lo que no habrá peligro de contagio.

Una vez al año se debe realizar una limpieza y desinfección del circuito secundario elevando la temperatura hasta los 70°C, durante 4 horas desde que se alcanza dicha temperatura.

- Gracias a la utilización y aprovechamiento de la energía solar térmica para el calentamiento de Agua Caliente Sanitaria la instalación va a ahorrar **754,46m³ de gas natural** al año, por lo que se dejarán de emitir a la atmósfera **1468,17 Kg de CO₂**, que es uno de los gases que provocan el indeseado efecto invernadero.
- Según el presupuesto realizado, el coste de la instalación teniendo en cuenta la subvención proporcionada por **Junta de Extremadura** será de **8429,78€**.
- Según el estudio económico realizado, el **periodo de amortización** de esta instalación frente a una de gas natural es de **16 años**.

8.2.2. OTROS CÁLCULOS ENSAYADOS

Como hemos comentado en el Capítulo 4, cuando realizamos el dimensionado de la instalación, observamos que no podíamos cumplir con todas las restricciones que nos marca el Código Técnico de la Edificación, por lo que realizamos el dimensionado con varios colectores solares distintos, y con características muy dispares, para corroborar nuestras suposiciones y fundamentar con datos específicos nuestras conclusiones.

Los datos obtenidos de los cálculos se pueden ver el ANEXO 2, junto a la ficha técnica de cada uno de ellos.

Un extracto-resumen de los valores obtenidos de la cobertura solar obtenida con cada uno de los colectores se puede ver en la **Tabla 4.23. Cobertura Solar con pérdidas y sin corregir; en la Tabla 4.24. Cobertura Solar con pérdidas y corregida**, donde se puede observar como las coberturas en los meses estivales son superiores al 110% de la demanda mensual, y que en más de 3 meses consecutivos obtenemos más del 100% de la demanda mensual, por lo que no se cumple por completo con el CTE.

Además, en la **Figura 4. 29. Comparativa de los Captadores**. Se puede observar gráficamente los resultados de la cobertura solar obtenida con cada caso ensayado, y se observa como con la mayoría de los captadores no se puede cubrir el 70% de la demanda energética anual, como marca el Código Técnico de la Edificación.

Por tanto, queda argumentada con datos concretos la suposición de que no podemos cumplir por completo con todas las restricciones del CTE, ya que si cumplimos la condición de cubrir el 70%, como mínimo, de la cobertura solar anual, no podemos cumplir con la condición de no obtener en más de tres meses seguidos el 100% de la demanda energética mensual. Y, por el contrario si cumplimos dicha condición, no podremos cumplir con la condición de cubrir la cobertura solar mínima marcada para Cáceres, que es del 70%. Esto es debido a las condiciones de climatológicas y de radiación solar de la zona.

8.2.3. CONCLUSIONES GENERALES

Una vez finalizado el diseño de la instalación solar y tras los resultados obtenidos de la realización de los cálculos de la instalación podemos concluir que, el sistema cumple la función para la cual ha sido diseñado, provocando un descenso de las emisiones de CO₂ a la atmósfera, que es el objetivo principal de este proyecto, así como el ahorro económico que supondrá el descenso del consumo de combustible, en este caso Gas Natural, sustituyendo este por una energía gratuita, renovable y limpia como es la energía solar térmica.

Por tanto, queda justificado el uso de la energía solar térmica para el calentamiento de Agua Caliente Sanitaria.

A la luz de los resultados obtenidos, cabe destacar que para realizar el diseño de nuestra instalación hemos tenido que obviar la condición en la que nos indica el Código Técnico de la Edificación, que en no más de tres meses se supere el 100% de la cobertura solar, y en nuestro caso van a ser 5 meses (Mayo, Junio, Julio, Agosto y Septiembre).

Esta restricción se ha obviado debido a que, a la vista de los resultados obtenidos, si no lo hiciéramos, no podríamos cumplir con la cobertura mínima que nos marca, el Código Técnico de la Edificación, del 70% de la cobertura solar mínima anual. Esto es debido a la distribución mensual irregular de la radiación solar a lo largo del año en la provincia de Cáceres, la cual es muy elevada en el periodo estival y muy escasa en el periodo invernal. Así, para los meses del periodo estival obtenemos una cobertura solar mensual durante más de 3 meses consecutivos superior el 100% de la misma y superior al 110%.

Por esto, para no superar ningún mes el 110% de de la cobertura solar, ya que en nuestro caso tenemos una cobertura solar mayor durante 4 meses (Junio, Julio, Agosto y Septiembre), hemos optado por instalar el aerotermo, dando cumplimiento a dicha condición del Código Técnico de la Edificación.

Si hubiéramos decidido continuar cumpliendo con la condición no superar más de 3 meses consecutivos el 100% de la demanda energética y obviáramos la condición de cobertura solar mínima del 70%, esta sería muy inferior a la exigida por el Código Técnico de la Edificación, ya que si no obtuviéramos en más de 3 meses más del 100% de cobertura solar implicaría un descenso considerable del Área de captación, y por tanto de la cobertura solar anual, por lo que no cumpliríamos con todas las condiciones del marcadas por el Código Técnico de la Edificación tampoco.

Una vez planteadas las dos posibilidades decidimos dar mayor importancia al descenso de las emisiones de CO₂ a la atmósfera, cumpliendo con la cobertura solar mínima anual exigida por el Código Técnico de la Edificación del 70%, ya que este proyecto tiene como principal objetivo reducir de la emisión de gases que provoquen efecto invernadero, y no el ahorro económico por el descenso del consumo de combustible convencional en sí.

Así, queremos hacer una pequeña crítica a las exigencias del Código Técnico de la Edificación, ya que en ninguno de los casos ensayados, con captadores de distintas y múltiples características, y con distintas inclinaciones de los colectores, se puede cumplir simultáneamente con todas las condiciones propuestas por esta Normativa. Por lo que nos resulta totalmente imposible cumplir con la normativa legal vigente y en especial con el Código técnico de la Edificación en toda su totalidad.



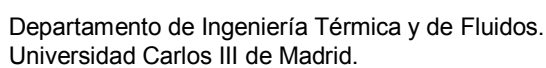
9. BIBLIOGRAFÍA.

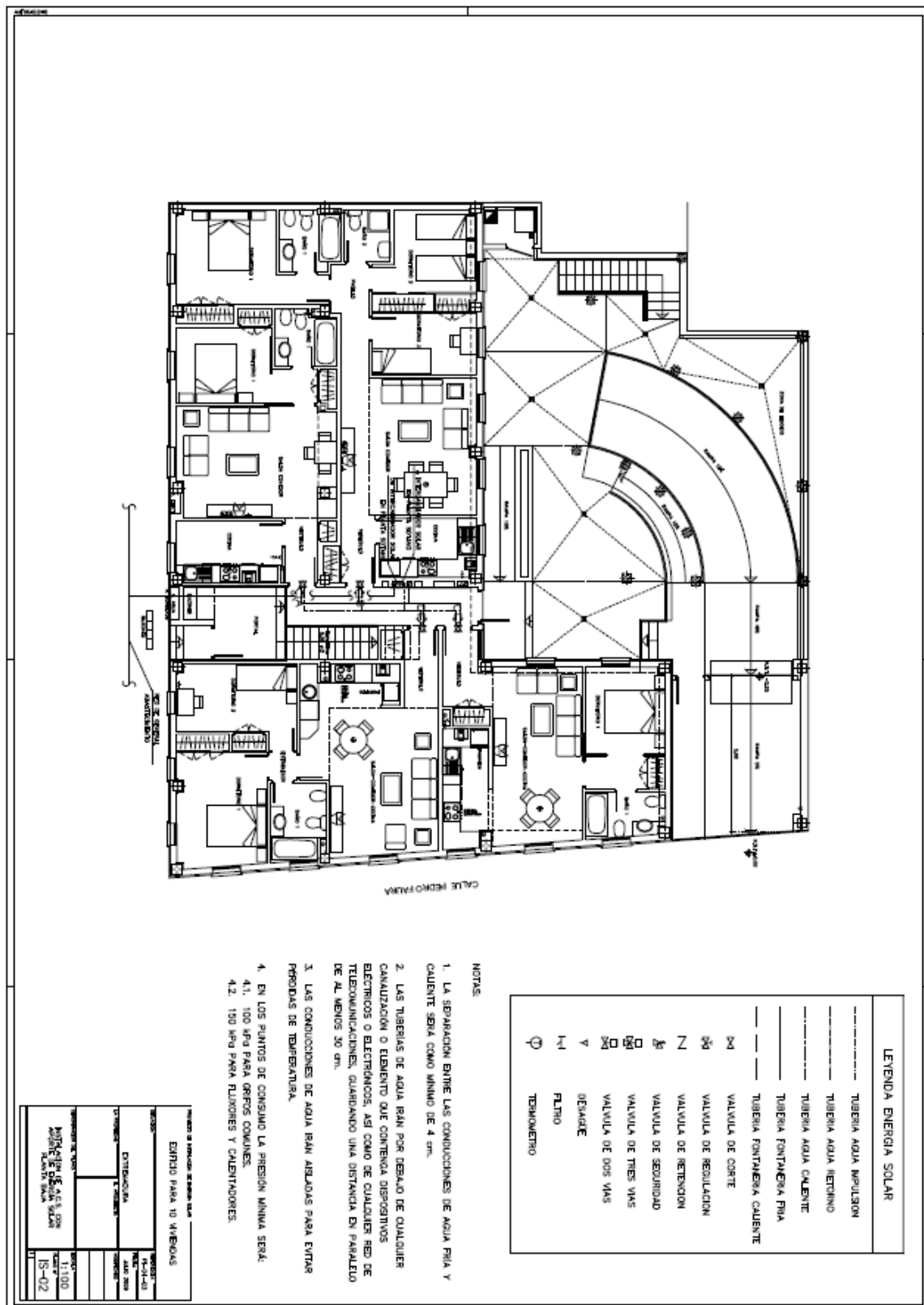
9. BIBLIOGRAFÍA:

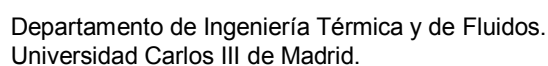
- Documento técnicos en la edificación. DTIE 1.01 Preparación de Agua Caliente para Usos Sanitarios. Comité Científico de Atecyr. Editorial el Instalador.
- Documento técnicos en la edificación. DTIE 8.03 Instalaciones Solares Térmicas para producción de Agua Caliente Sanitaria. Comité Científico de Atecyr. Editorial el Instalador.
- Especificaciones de Condiciones y Requisitos Técnicos y de Garantías que han de cumplir las Instalaciones de Energía Solar acogidas al Plan Ahorro Energético de Extremadura. (Junta de Extremadura, orden 263/2008).
- Instalaciones de Energía Solar Térmica. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura. IDAE e INTA.2002
- Código Técnico de Edificación. Ministerio de Vivienda. 2006.
- Energía Solar en España 2007. Estado Actual y Perspectivas. IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). Madrid 2007.
- Las Energías Renovables a ambos lados de la raya. IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). Madrid 2008.
- Apuntes de la asignatura Ingeniería Térmica I.
- Apuntes de la asignatura Termodinámica Industrial.
- **Páginas web consultadas:**
 - http://www.soliclima.com/energia_solar.htm
 - <http://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>
 - <http://www.salvadorescoda.com/>
 - <http://www.grundfos.com/inline>
 - <http://www.idae.es>
 - <http://www.juntaex.es>

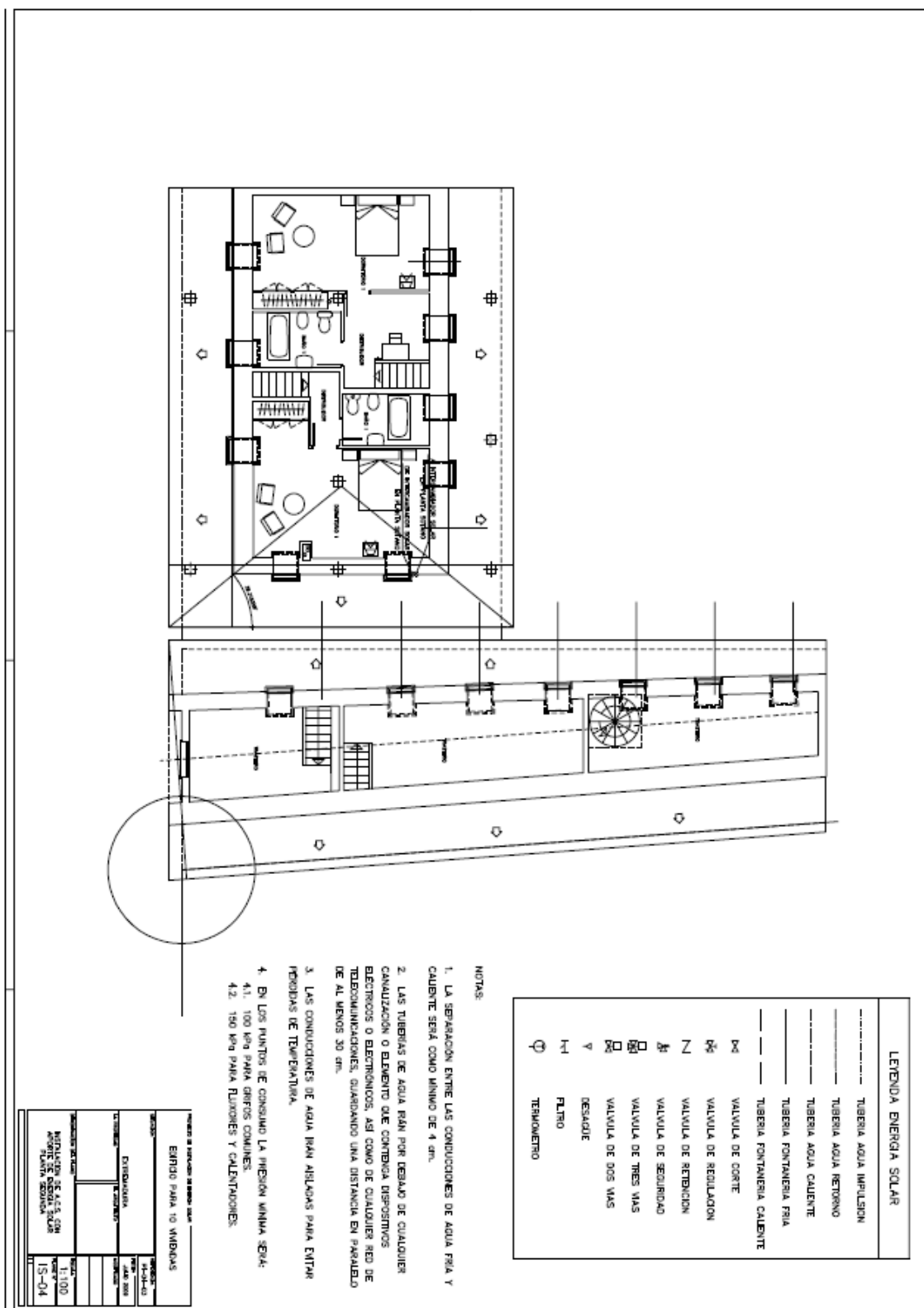
10. ANEXOS.

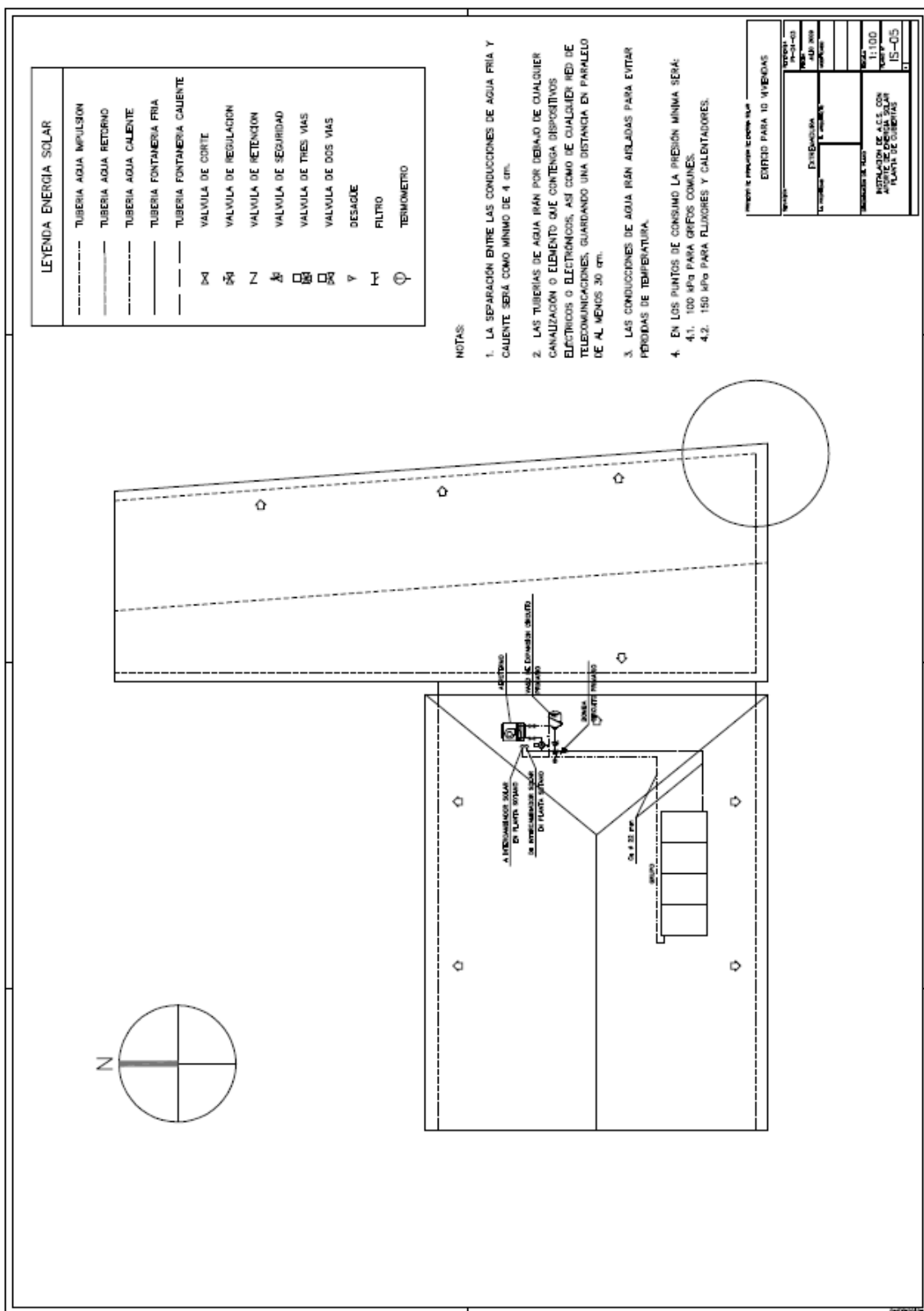
ANEXO 1:

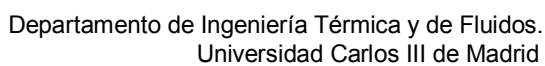












ANEXO 2:

FICHA TÉCNICA CAPTADOR SOLAR DISOL ICARUS 21L



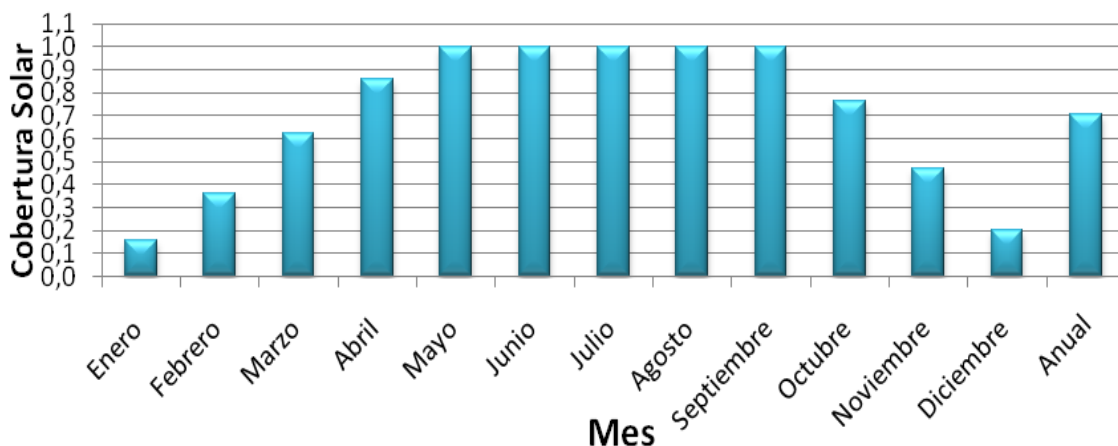
- Captador solar plano certificado de alta eficiencia.
- Absorbedor de cobre con tratamiento selectivo de óxido de cromo y soldadura por ultrasonidos.
- Circuito absorbedor de cobre tipo parrilla.
- Cubierta de vidrio templado de 4 mm de espesor y bajo contenido en hierro.
- Caja de aluminio anodizado y lacado.
- Aislamiento de lana de vidrio de elevado espesor: 40 mm.
- Interconexión mediante racores bicono.
- Instalación en posición vertical.
- Excelente relación calidad-precio en pequeñas instalaciones.



| COMPONENTES | |
|---|---|
| Absorbedor | Lámina de cobre de 0,2 mm espesor con recubrimiento selectivo de óxido de cromo y parrilla unida mediante soldadura por ultrasonidos de 10 tubos de cobre de Ø 10 mm unida a 2 tubos colectores de cobre de Ø 22 mm |
| Cubierta transparente | Vidrio solar de seguridad y bajo contenido en hierro, templado, espesor 4 mm, transmisividad >89% |
| Caja captador | Marco de perfil de aluminio lacado. Fondo realizado en lámina de aluminio anodizado. |
| Aislamiento térmico | Lana mineral de 40 mm de espesor en fondo y 20 en laterales. |
| Conexiones | 4 salidas laterales en tubo de cobre de 22. |
| Características constructivas y dimensionales | |
| Dimensiones externas (mm) | 2028 x 1030 x 87 (2,09 m ²) |
| Dimensiones absorbedor (m ²) | 2,00 |
| Dimensiones apertura (m ²) | 1,92 |
| Peso en vacío (kg) | 38 |
| Capacidad de líquido (l) | 2,1 |
| Características funcionales | |
| Presión máxima de trabajo (bar) | 10 |
| Temperatura de estancamiento (°C) | 201 |
| Fluido de trabajo | Agua o agua + anticongelante |
| ABSORTIVIDAD Y EMISIVIDAD | 95%-5% |
| CURVA DE RENDIMIENTO | $\eta_0: 0,674$ |
| $\eta = \eta_0 - a_1 (\Delta T/G) - a_2 \Delta T^2/G$ | Coefficiente de pérdidas $a_1: 5,472 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ Coefficiente de pérdidas $a_2: 0,018 \text{ W/(m}^2\text{K}^2)$ |
| Referente al área de apertura | Contraseña Certificación: NPS-6407 |

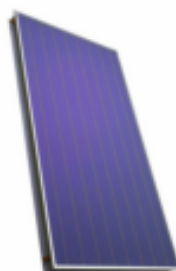
| DISOL ICARUS 21 L | | | | | | | | |
|-------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| Mes | T _{ci} (K) | T _{co} (K) | T _{ici} (K) | T _{ico} (K) | T _{cons} (K) | T _t (K) | T _{ice} (K) | T _{ics} (K) |
| Enero | 287,34 | 288,161 | 287,136 | 287,884 | 287,526 | 287,167 | 288,16 | 287,341 |
| Febrero | 298,603 | 300,186 | 298,212 | 299,652 | 298,958 | 298,265 | 300,182 | 298,606 |
| Marzo | 313,064 | 315,586 | 312,444 | 314,734 | 313,629 | 312,524 | 315,579 | 313,071 |
| Abril | 325,461 | 328,836 | 324,631 | 327,696 | 326,217 | 324,739 | 328,826 | 325,47 |
| Mayo | 334,6 | 338,447 | 333,652 | 337,148 | 335,459 | 333,769 | 338,437 | 334,609 |
| Junio | 346,423 | 350,967 | 345,302 | 349,433 | 347,434 | 345,436 | 350,956 | 346,432 |
| Julio | 365,867 | 371,148 | 364,569 | 369,364 | 367,036 | 364,708 | 371,132 | 365,882 |
| Agosto | 373,811 | 378,838 | 372,579 | 377,139 | 374,916 | 372,693 | 378,82 | 373,827 |
| Septiembre | 346,919 | 351,346 | 345,827 | 349,851 | 347,902 | 345,952 | 351,335 | 346,929 |
| Octubre | 320,808 | 323,526 | 320,136 | 322,608 | 321,412 | 320,215 | 323,52 | 320,813 |
| Noviembre | 305,461 | 307,582 | 304,936 | 306,867 | 305,939 | 305,011 | 307,579 | 305,465 |
| Diciembre | 289,726 | 290,818 | 289,455 | 290,45 | 289,974 | 289,498 | 290,817 | 289,727 |
| DISOL ICARUS 21 L | | | | | | | | |
| Mes | T _{ci} (°C) | T _{co} (°C) | T _{ici} (°C) | T _{ico} (°C) | T _{cons} (°C) | T _t (°C) | T _{ice} (°C) | T _{ics} (°C) |
| Enero | 14,34 | 15,161 | 14,136 | 14,884 | 14,526 | 14,167 | 15,16 | 14,341 |
| Febrero | 25,603 | 27,186 | 25,212 | 26,652 | 25,958 | 25,265 | 27,182 | 25,606 |
| Marzo | 40,064 | 42,586 | 39,444 | 41,734 | 40,629 | 39,524 | 42,579 | 40,071 |
| Abril | 52,461 | 55,836 | 51,631 | 54,696 | 53,217 | 51,739 | 55,826 | 52,47 |
| Mayo | 61,6 | 65,447 | 60,652 | 64,148 | 62,459 | 60,769 | 65,437 | 61,609 |
| Junio | 73,423 | 77,967 | 72,302 | 76,433 | 74,434 | 72,436 | 77,956 | 73,432 |
| Julio | 92,867 | 98,148 | 91,569 | 96,364 | 94,036 | 91,708 | 98,132 | 92,882 |
| Agosto | 100,811 | 105,838 | 99,579 | 104,139 | 101,916 | 99,693 | 105,82 | 100,827 |
| Septiembre | 73,919 | 78,346 | 72,827 | 76,851 | 74,902 | 72,952 | 78,335 | 73,929 |
| Octubre | 47,808 | 50,526 | 47,136 | 49,608 | 48,412 | 47,215 | 50,52 | 47,813 |
| Noviembre | 32,461 | 34,582 | 31,936 | 33,867 | 32,939 | 32,011 | 34,579 | 32,465 |
| Diciembre | 16,726 | 17,818 | 16,455 | 17,45 | 16,974 | 16,498 | 17,817 | 16,727 |

Cobertura Solar



CAPTADOR SOLAR SELECTIVO DE ALTO RENDIMIENTO

AT 018



El captador ASTERSA AT 018 está fabricado bajo los más estrictos normos de calidad. Dispone de un absorbedor continuo de cobre con tratamiento selectivo BLUETEC soldado por ultrasonidos a un colector de cobre tipo arpa. Las soldaduras en el absorbedor se realizan por inducción y se prueba la estanqueidad a 1.5 bar cada unidad. La carcasa es de aluminio anodizado de alta calidad. La cubierta transparente es un vidrio solar templado de alta resistencia y baja emisividad. La cubierta posterior es de fibra de políester rígida. Todo el proceso dispone de certificaciones ISO 9001 e ISO 14001.

DIMENSIONES Y PESOS

| | |
|------------------------------|---------------------------|
| Largo Total | 1.852 mm |
| Ancho Total | 1.055 mm |
| Fondo Total | 88 mm |
| Área Total | 1,95 m ² |
| Área de Apertura | 1,77 m ² |
| Área del Absorbedor | 1,80 m ² |
| Peso en vacío | 36 kg |
| Fluido calo portador | Mezcla de agua con glicol |
| Capacidad de fluido | 1,30 l |
| Temperatura de estancamiento | 193,5 °C |
| Flexión máxima | 1.000 Pa |

PRESIONES Y CAUDALES

| | |
|----------------------------|-----------------------|
| Presión de timbre | 15 bar |
| Presión de trabajo | 10 bar |
| Caudal recomendado | 45 l/h·m ² |
| Capacidad Térmica efectiva | 11.930 J/K |

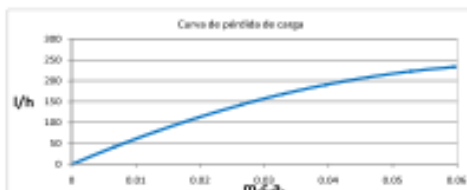
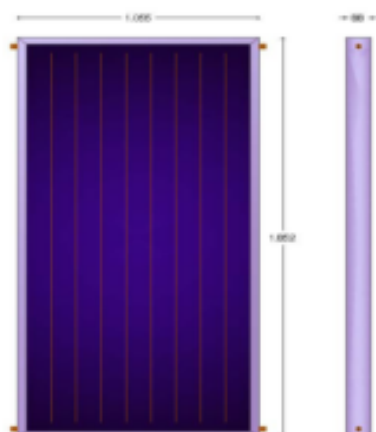
CAUDALES DE FABRICACIÓN

| | |
|-----------------------------|--|
| Cubierta transparente | Vidrio templado de 3,20 mm de espesor bajo contenido en hierro |
| Carcasa | Aluminio extrusionado AL-6063 T5 de 1,40 mm de espesor y anodizado |
| Absorbedor | Lámina de cobre continua de 0,20 soldada por ultrasonidos a parrilla |
| Tratamiento | Selectivo BLUETEC |
| Colector principal | 2 unidades de 22 mm |
| Colector secundario | 8 unidades de 8 mm |
| Carcasa | Lana mineral de alta densidad D:500Kg/m ³ / C:0,035W/m·°C de espesor 50mm dorsal y 20mm lateral |
| Acabado posterior y sellado | Fibra rígida de políester y proyección de sílica neutra. Junta de EPDM. |
| Conexiones externas | Tubo liso de cobre de 22mm (4 uds.) |

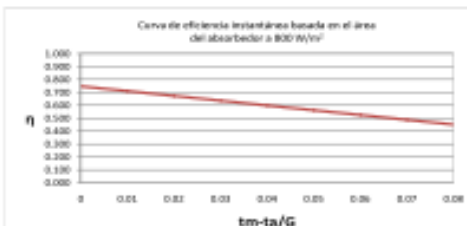
CURVA DE RENDIMIENTO INSTANTÁNEO Y REGISTRO

| | |
|--|---|
| Rendimiento óptico | 74,80% |
| Factor de pérdidas primario | 3,718 W/m ² ·°K |
| Factor de pérdidas secundario | 0,014 W/m ² ·°K ² |
| Potencia máx. (1000W/m ² ·aT ² 10°C) | 1.254 W |
| Norma de certificación de captador | EN 12975-1,2:2006 |
| Denominación Industrial | A5 1.8 M |
| Contraseña de homologación | NPS - 31909 |
| Número Registro KEYMARK | 011 - 75508F |

CÓDIGO PRODUCTO ASTERSA AT018



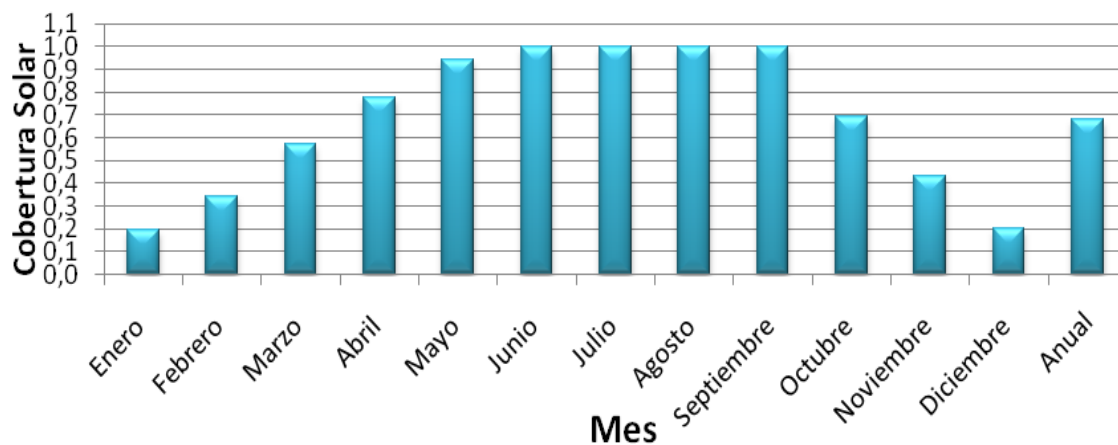
| Pérdidas de Carga | | | | |
|-------------------------|-----|---|---|---|
| Caudal (l/min) | 3.3 | 2 | 5 | 4 |
| Carga de presión (mbar) | 3 | 2 | 4 | 5 |



GARANTÍA: 10 AÑOS

| ASTERSA AT 018 | | | | | | | | |
|----------------|---------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|------------|----------------|----------------|
| Mes | T_{ci} (K) | T_{co} (K) | T_{ici} (K) | T_{ico} (K) | T_{cons} (K) | T_t (K) | T_{ice} (K) | T_{ics} (K) |
| Enero | 289,138 | 290,82 | 288,72 | 290,253 | 289,538 | 288,824 | 290,818 | 289,14 |
| Febrero | 297,356 | 299,835 | 296,742 | 298,998 | 297,937 | 296,876 | 299,83 | 297,36 |
| Marzo | 310,27 | 314,123 | 309,321 | 312,821 | 311,17 | 309,52 | 314,112 | 310,28 |
| Abril | 320,967 | 326,017 | 319,723 | 324,311 | 322,147 | 319,983 | 326,003 | 320,979 |
| Mayo | 328,848 | 334,553 | 327,442 | 332,626 | 330,174 | 327,723 | 334,538 | 328,861 |
| Junio | 339,006 | 345,69 | 337,355 | 343,433 | 340,555 | 337,676 | 345,674 | 339,019 |
| Julio | 356,132 | 363,882 | 354,225 | 361,264 | 357,911 | 354,558 | 363,859 | 356,152 |
| Agosto | 363,213 | 370,599 | 361,4 | 368,102 | 364,888 | 361,673 | 370,574 | 363,235 |
| Septiembre | 339,414 | 345,932 | 337,806 | 343,731 | 340,917 | 338,104 | 345,917 | 339,428 |
| Octubre | 316,978 | 321,06 | 315,969 | 319,682 | 317,922 | 316,162 | 321,052 | 316,986 |
| Noviembre | 303,174 | 306,393 | 302,376 | 305,307 | 303,933 | 302,56 | 306,388 | 303,178 |
| Diciembre | 289,466 | 291,263 | 289,02 | 290,657 | 289,896 | 289,135 | 291,261 | 289,469 |
| ASTERSA AT 018 | | | | | | | | |
| Mes | T_{ci} (°C) | T_{co} (°C) | T_{ici} (°C) | T_{ico} (°C) | T_{cons} (°C) | T_t (°C) | T_{ice} (°C) | T_{ics} (°C) |
| Enero | 16,138 | 17,82 | 15,72 | 17,253 | 16,538 | 15,824 | 17,818 | 16,14 |
| Febrero | 24,356 | 26,835 | 23,742 | 25,998 | 24,937 | 23,876 | 26,83 | 24,36 |
| Marzo | 37,27 | 41,123 | 36,321 | 39,821 | 38,17 | 36,52 | 41,112 | 37,28 |
| Abril | 47,967 | 53,017 | 46,723 | 51,311 | 49,147 | 46,983 | 53,003 | 47,979 |
| Mayo | 55,848 | 61,553 | 54,442 | 59,626 | 57,174 | 54,723 | 61,538 | 55,861 |
| Junio | 66,006 | 72,69 | 64,355 | 70,433 | 67,555 | 64,676 | 72,674 | 66,019 |
| Julio | 83,132 | 90,882 | 81,225 | 88,264 | 84,911 | 81,558 | 90,859 | 83,152 |
| Agosto | 90,213 | 97,599 | 88,4 | 95,102 | 91,888 | 88,673 | 97,574 | 90,235 |
| Septiembre | 66,414 | 72,932 | 64,806 | 70,731 | 67,917 | 65,104 | 72,917 | 66,428 |
| Octubre | 43,978 | 48,06 | 42,969 | 46,682 | 44,922 | 43,162 | 48,052 | 43,986 |
| Noviembre | 30,174 | 33,393 | 29,376 | 32,307 | 30,933 | 29,56 | 33,388 | 30,178 |
| Diciembre | 16,466 | 18,263 | 16,02 | 17,657 | 16,896 | 16,135 | 18,261 | 16,469 |

Cobertura Solar



CAPTADOR SOLAR SELECTIVO DE ALTO RENDIMIENTO

AS 2.4 M



El captador **ASTERSA AS-2.4 M** está fabricado con un absorbedor continuo de cobre con tratamiento selectivo BLUETEC soldado por ultrasonidos a un colector de tipo parrilla. Las soldaduras en el absorbedor se realizan por inducción. El marco está extrusionado al 100% y anodizado de alta calidad. Vidrio solar templado de alta resistencia y baja emisividad. Cubierta posterior en PE térmico.

DIMENSIONES Y PESOS

| | |
|------------------------------|---------------------------|
| Largo Total | 2.060 mm |
| Ancho Total | 1.260 mm |
| Fondo Total | 96 mm |
| Área Total | 2,60 m ² |
| Área de Apertura | 2,40 m ² |
| Área del Absorbedor | 2,40 m ² |
| Peso en vacío | 49 Kg |
| Fluido calo portador | Mezcla de agua con glicol |
| Capacidad de fluido | 1,60 l |
| Temperatura de estancamiento | 198 °C |
| Flexión máxima | 1.000 Pa |

PRESIONES, CAUDAL Y CONSTANTES

| | |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| Presión de timbre | 14 bar |
| Presión de trabajo | 10 bar |
| Caudal recomendado | 45 l/h·m ² |
| Constantes de tiempo | 0,01; 0,09 h·m ² |
| Capacidad Térmica efectiva | 12.583 J/°K |
| Modificador del ángulo de incidencia | 0,95 (θ=50°) |

CALIDADES DE FABRICACIÓN

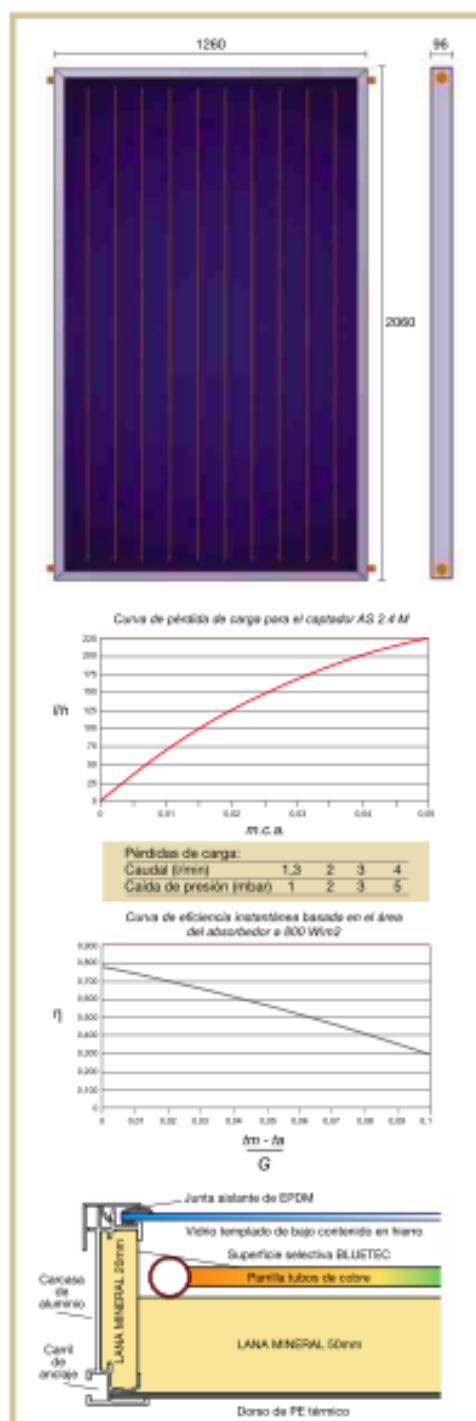
| | |
|-----------------------------|---|
| Cubierta transparente | Vidrio templado de 3,20 mm de espesor bajo en hierro |
| Carcasa | Aluminio anodizado AL-6063 T5 de 1,70 mm de espesor |
| Absorbedor | Lámina de cobre continua 0,20 mm soldada por ultrasonidos a parrilla |
| Tratamiento | Selectivo BLUETEC |
| Colector principal | 2 unidades de 22 mm |
| Colector secundario | 10 unidades de 8 mm |
| Aislamiento térmico | Lana mineral de alta densidad D: 500 Kg/m ³ / C: 0,035 W/m·°C 50 mm dorsal y 20 mm lateral |
| Acabado posterior y sellado | Poliuretano térmico y silicona + EPDM |
| Conexiones | Tubo liso de cobre 22 mm (4 uds.) |

CURVA DE RENDIMIENTO INSTANTÁNEO Y REGISTRO

| | |
|-------------------------------|---|
| Rendimiento óptico | 77,30 % |
| Factor de pérdidas primario | 3,809 W/m ² ·°K |
| Factor de pérdidas secundario | 0,011 W/m ² ·°K ² |
| Norma de certificación | EN 12975-1:2000; EN 12975-1:2001; EN 12975-2:2001/AC:2002; ME-542-01 |
| Contraseña de homologación | NPS-0308 |
| Nº Registro KEYMARK | 011-7S508 F |

CÓDIGO ASTERSA

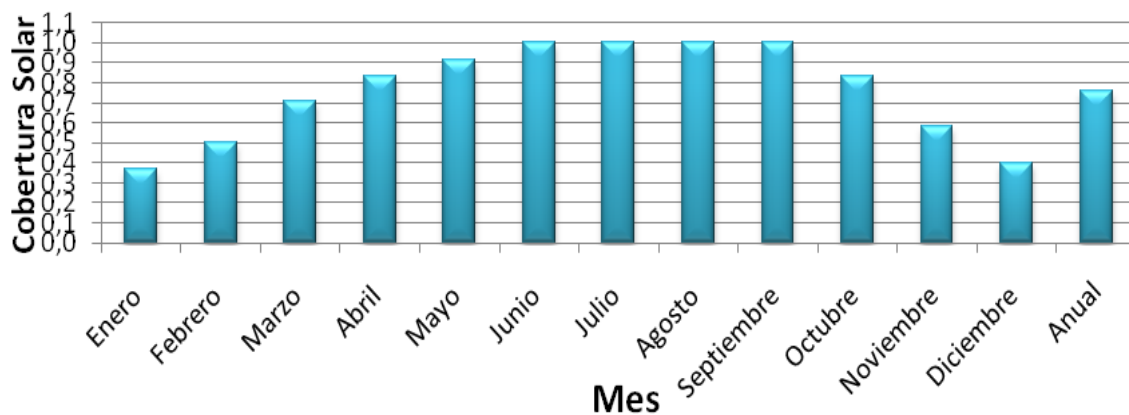
AZ024



GARANTÍA: 10 AÑOS

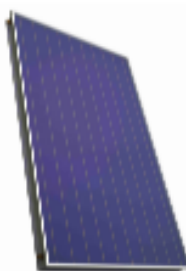
| ASTERSA AS 2,4 M | | | | | | | | |
|------------------|---------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|------------|----------------|----------------|
| Mes | T_{ci} (K) | T_{co} (K) | T_{ici} (K) | T_{ico} (K) | T_{cons} (K) | T_t (K) | T_{ice} (K) | T_{ics} (K) |
| Enero | 289,145 | 291,236 | 288,626 | 290,53 | 289,656 | 288,782 | 291,233 | 289,147 |
| Febrero | 296,565 | 299,5 | 295,839 | 298,509 | 297,27 | 296,031 | 299,494 | 296,57 |
| Marzo | 308,181 | 312,603 | 307,092 | 311,109 | 309,238 | 307,368 | 312,59 | 308,192 |
| Abril | 317,367 | 323,017 | 315,975 | 321,108 | 318,718 | 316,329 | 323 | 317,38 |
| Mayo | 324,122 | 330,427 | 322,567 | 328,297 | 325,621 | 322,945 | 330,41 | 324,136 |
| Junio | 332,793 | 340,099 | 330,987 | 337,632 | 334,522 | 331,413 | 340,082 | 332,806 |
| Julio | 347,893 | 356,337 | 345,814 | 353,484 | 349,869 | 346,255 | 356,313 | 347,914 |
| Agosto | 354,208 | 362,271 | 352,228 | 359,546 | 356,068 | 352,591 | 362,244 | 354,231 |
| Septiembre | 333,125 | 340,259 | 331,362 | 337,85 | 334,804 | 331,759 | 340,242 | 333,138 |
| Octubre | 313,92 | 318,506 | 312,786 | 316,957 | 315,003 | 313,049 | 318,496 | 313,928 |
| Noviembre | 299,07 | 302,289 | 298,271 | 301,203 | 299,848 | 298,494 | 302,284 | 299,074 |
| Diciembre | 289,513 | 291,757 | 288,957 | 290,999 | 290,064 | 289,129 | 291,753 | 289,516 |
| ASTERSA AS 2,4 M | | | | | | | | |
| Mes | T_{ci} (°C) | T_{co} (°C) | T_{ici} (°C) | T_{ico} (°C) | T_{cons} (°C) | T_t (°C) | T_{ice} (°C) | T_{ics} (°C) |
| Enero | 16,145 | 18,236 | 15,626 | 17,53 | 16,656 | 15,782 | 18,233 | 16,147 |
| Febrero | 23,565 | 26,5 | 22,839 | 25,509 | 24,27 | 23,031 | 26,494 | 23,57 |
| Marzo | 35,181 | 39,603 | 34,092 | 38,109 | 36,238 | 34,368 | 39,59 | 35,192 |
| Abril | 44,367 | 50,017 | 42,975 | 48,108 | 45,718 | 43,329 | 50 | 44,38 |
| Mayo | 51,122 | 57,427 | 49,567 | 55,297 | 52,621 | 49,945 | 57,41 | 51,136 |
| Junio | 59,793 | 67,099 | 57,987 | 64,632 | 61,522 | 58,413 | 67,082 | 59,806 |
| Julio | 74,893 | 83,337 | 72,814 | 80,484 | 76,869 | 73,255 | 83,313 | 74,914 |
| Agosto | 81,208 | 89,271 | 79,228 | 86,546 | 83,068 | 79,591 | 89,244 | 81,231 |
| Septiembre | 60,125 | 67,259 | 58,362 | 64,85 | 61,804 | 58,759 | 67,242 | 60,138 |
| Octubre | 40,92 | 45,506 | 39,786 | 43,957 | 42,003 | 40,049 | 45,496 | 40,928 |
| Noviembre | 26,07 | 29,289 | 25,271 | 28,203 | 26,848 | 25,494 | 29,284 | 26,074 |
| Diciembre | 16,513 | 18,757 | 15,957 | 17,999 | 17,064 | 16,129 | 18,753 | 16,516 |

Cobertura Solar



CAPTADOR SOLAR SELECTIVO DE ALTO RENDIMIENTO

AS 2.6 M



El captador **ASTERSA AS-2.6 M** está fabricado con un absorbente continuo de cobre con tratamiento selectivo BLUETEC soldado por ultrasonidos a un colector de tipo parrilla. Las soldaduras en el absorbente se realizan por inducción. El marco está extrusionado al 100% y anodizado de alta calidad. Vidrio solar templado de alta resistencia y baja emisividad. Cubierta posterior en PE térmico.

DIMENSIONES Y PESOS

| | |
|------------------------------|---------------------------|
| Largo Total | 2.180 mm |
| Ancho Total | 1.259 mm |
| Fondo Total | 95 mm |
| Área Total | 2,74 m ² |
| Área de Apertura | 2,52 m ² |
| Área del Absorbente | 2,54 m ² |
| Peso en vacío | 51 Kg |
| Fluido calo portador | Mezcla de agua con glicol |
| Capacidad de fluido | 1,70 l |
| Temperatura de estancamiento | 207 °C |
| Flexión máxima | 1.000 Pa |

PRESIONES, CAUDAL Y CONSTANTES

| | |
|--------------------------------------|-----------------------|
| Presión de timbre | 14 bar |
| Presión de trabajo | 10 bar |
| Caudal recomendado | 45 l/h·m ² |
| Constantes de tiempo | 0:01:04 h·m·s |
| Capacidad Térmica efectiva | 11.985 J/°K |
| Modificador del ángulo de incidencia | 0,94 (θ=50°) |

CALIDADES DE FABRICACIÓN

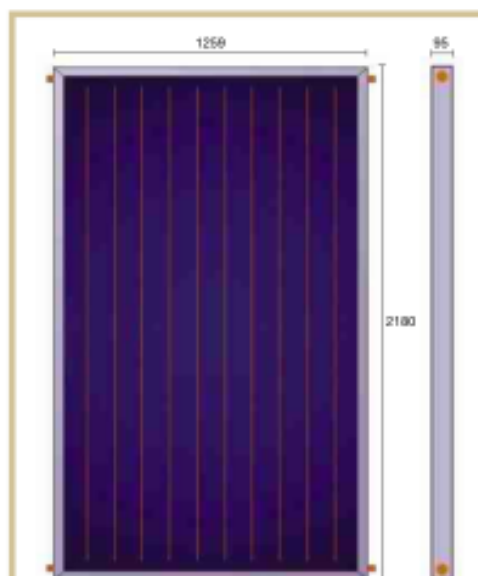
| | |
|-----------------------------|---|
| Cubierta transparente | Vidrio templado de 3,20 mm de espesor bajo en hierro |
| Carcasa | Aluminio anodizado AL-6063 T5 de 1,70 mm de espesor |
| Absorbente | Lámina de cobre continua 0,20 mm soldada por ultrasonidos a parrilla |
| Tratamiento | Selectivo BLUETEC |
| Colector principal | 2 unidades de 22 mm |
| Colector secundario | 10 unidades de 8 mm |
| Aislamiento térmico | Lana mineral de alta densidad D: 500 Kg/m ³ / C: 0,035 W/m·°C 50 mm dorsal y 20 mm lateral |
| Acabado posterior y sellado | Poliuretano térmico y silicona + EPDM |
| Conexiones | Tubo liso de cobre 22 mm (4 uds.) |

CURVA DE RENDIMIENTO INSTANTÁNEO Y REGISTRO

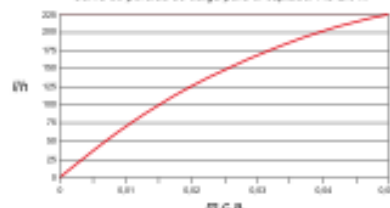
| | |
|-------------------------------|---|
| Rendimiento óptico | 74,90 % |
| Factor de pérdidas primario | 3,708 W/m ² ·°K |
| Factor de pérdidas secundario | 0,014 W/m ² ·°K ² |
| Norma de certificación | EN 12975-1:2000; EN 12975-1:2001; EN 12975-2:2001/AC:2002; ME-542-01 |
| Contraseña de homologación | NPS-8509 |
| Nº Registro KEYMARK | 011-75508 F |

CÓDIGO ASTERSA

AZ026

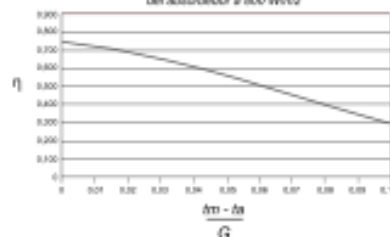


Curva de pérdida de carga para el captador AS 2.6 M



| | |
|-------------------------|---------|
| Pérdidas de carga: | |
| Caudal (l/min) | 1 2 3 4 |
| Carga de presión (mbar) | 1 2 3 5 |

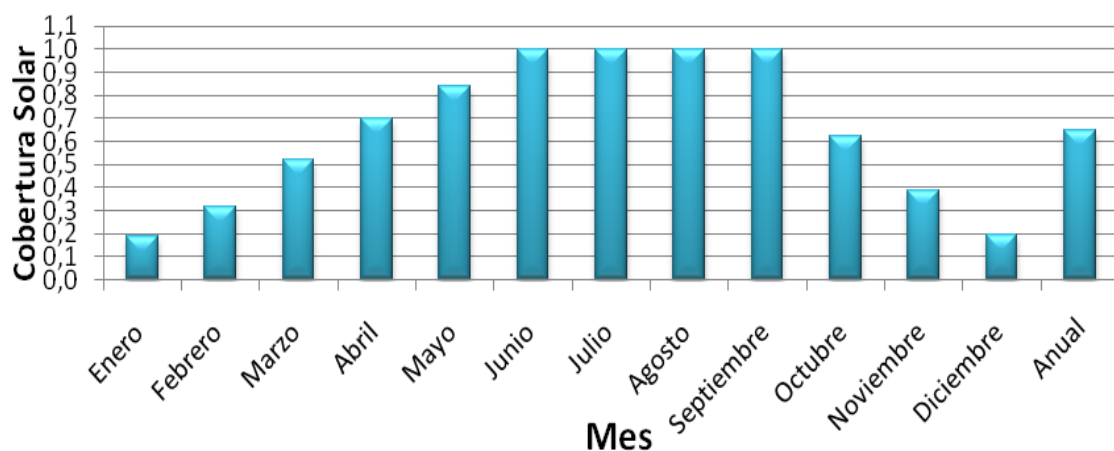
Curva de eficiencia instantánea basada en el área del absorbente a 800 W/m²



GARANTÍA: 10 AÑOS

| ASTERSA AS 2,6 M | | | | | | | | |
|------------------|---------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|------------|----------------|----------------|
| Mes | T_{ci} (K) | T_{co} (K) | T_{ici} (K) | T_{ico} (K) | T_{cons} (K) | T_t (K) | T_{ice} (K) | T_{ics} (K) |
| Enero | 288,586 | 290,462 | 288,12 | 289,829 | 289,041 | 288,254 | 290,459 | 288,588 |
| Febrero | 295,957 | 298,642 | 295,292 | 297,736 | 296,598 | 295,46 | 298,637 | 295,961 |
| Marzo | 307,543 | 311,643 | 306,533 | 310,258 | 308,518 | 306,778 | 311,631 | 307,553 |
| Abril | 316,896 | 322,189 | 315,592 | 320,4 | 318,154 | 315,908 | 322,174 | 316,908 |
| Mayo | 323,753 | 329,689 | 322,289 | 327,684 | 325,157 | 322,629 | 329,674 | 323,766 |
| Junio | 332,556 | 339,466 | 330,849 | 337,133 | 334,183 | 331,234 | 339,45 | 332,569 |
| Julio | 347,659 | 355,656 | 345,689 | 352,954 | 349,521 | 346,088 | 355,633 | 347,678 |
| Agosto | 353,873 | 361,503 | 351,999 | 358,924 | 355,626 | 352,327 | 361,478 | 353,895 |
| Septiembre | 332,848 | 339,591 | 331,182 | 337,314 | 334,427 | 331,54 | 339,575 | 332,861 |
| Octubre | 313,426 | 317,713 | 312,366 | 316,266 | 314,433 | 312,601 | 317,704 | 313,433 |
| Noviembre | 301,01 | 304,416 | 300,165 | 303,267 | 301,828 | 300,39 | 304,411 | 301,014 |
| Diciembre | 288,923 | 290,934 | 288,424 | 290,255 | 289,414 | 288,572 | 290,931 | 288,926 |
| ASTERSA AS 2,6 M | | | | | | | | |
| Mes | T_{ci} (°C) | T_{co} (°C) | T_{ici} (°C) | T_{ico} (°C) | T_{cons} (°C) | T_t (°C) | T_{ice} (°C) | T_{ics} (°C) |
| Enero | 15,586 | 17,462 | 15,12 | 16,829 | 16,041 | 15,254 | 17,459 | 15,588 |
| Febrero | 22,957 | 25,642 | 22,292 | 24,736 | 23,598 | 22,46 | 25,637 | 22,961 |
| Marzo | 34,543 | 38,643 | 33,533 | 37,258 | 35,518 | 33,778 | 38,631 | 34,553 |
| Abril | 43,896 | 49,189 | 42,592 | 47,4 | 45,154 | 42,908 | 49,174 | 43,908 |
| Mayo | 50,753 | 56,689 | 49,289 | 54,684 | 52,157 | 49,629 | 56,674 | 50,766 |
| Junio | 59,556 | 66,466 | 57,849 | 64,133 | 61,183 | 58,234 | 66,45 | 59,569 |
| Julio | 74,659 | 82,656 | 72,689 | 79,954 | 76,521 | 73,088 | 82,633 | 74,678 |
| Agosto | 80,873 | 88,503 | 78,999 | 85,924 | 82,626 | 79,327 | 88,478 | 80,895 |
| Septiembre | 59,848 | 66,591 | 58,182 | 64,314 | 61,427 | 58,54 | 66,575 | 59,861 |
| Octubre | 40,426 | 44,713 | 39,366 | 43,266 | 41,433 | 39,601 | 44,704 | 40,433 |
| Noviembre | 28,01 | 31,416 | 27,165 | 30,267 | 28,828 | 27,39 | 31,411 | 28,014 |
| Diciembre | 15,923 | 17,934 | 15,424 | 17,255 | 16,414 | 15,572 | 17,931 | 15,926 |

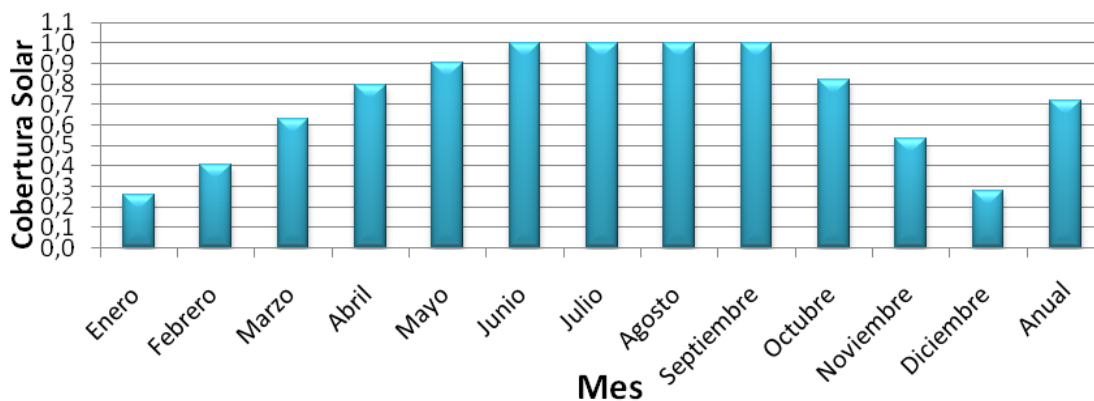
Cobertura Solar



A continuación podemos ver las temperaturas obtenida del cálculo de la cobertura solar con el colector Escosol Sol 2300 Selectivo Titán, con una inclinación del tejado de 39,5^a.

| ESCOSOL SOL 2300 SELECTIVO TITAN (39,5 ^a) | | | | | | | | |
|---|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| Mes | T _{ci} (K) | T _{co} (K) | T _{ici} (K) | T _{ico} (K) | T _{cons} (K) | T _t (K) | T _{ice} (K) | T _{ics} (K) |
| Enero | 292,383 | 294,156 | 291,943 | 293,557 | 292,795 | 292,032 | 294,153 | 292,385 |
| Febrero | 301,069 | 303,476 | 300,475 | 302,663 | 301,622 | 300,58 | 303,471 | 301,074 |
| Marzo | 313,343 | 316,759 | 312,503 | 315,605 | 314,126 | 312,646 | 316,749 | 313,352 |
| Abril | 322,01 | 326,163 | 320,989 | 324,76 | 322,961 | 321,163 | 326,151 | 322,021 |
| Mayo | 327,398 | 331,811 | 326,311 | 330,32 | 328,404 | 326,488 | 331,799 | 327,409 |
| Junio | 334,604 | 339,507 | 333,394 | 337,852 | 335,718 | 333,585 | 339,496 | 334,614 |
| Julio | 353,405 | 359,365 | 351,94 | 357,352 | 354,749 | 352,147 | 359,347 | 353,421 |
| Agosto | 364,023 | 370,005 | 362,556 | 367,983 | 365,359 | 362,736 | 369,984 | 364,042 |
| Septiembre | 343,887 | 349,532 | 342,495 | 347,626 | 345,165 | 342,704 | 349,518 | 343,899 |
| Octubre | 323,227 | 327,113 | 322,267 | 325,801 | 324,109 | 322,417 | 327,105 | 323,235 |
| Noviembre | 308,365 | 311,567 | 307,572 | 310,486 | 309,103 | 307,72 | 311,561 | 308,37 |
| Diciembre | 293,509 | 295,498 | 293,01 | 294,827 | 293,974 | 293,12 | 295,495 | 293,512 |
| ESCOSOL SOL 2300 SELECTIVO TITAN (39,5 ^o) | | | | | | | | |
| Mes | T _{ci} (°C) | T _{co} (°C) | T _{ici} (°C) | T _{ico} (°C) | T _{cons} (°C) | T _t (°C) | T _{ice} (°C) | T _{ics} (°C) |
| Enero | 25,29 | 27,86 | 24,647 | 26,995 | 25,886 | 24,778 | 21,153 | 19,385 |
| Febrero | 28,069 | 30,476 | 27,475 | 29,663 | 28,622 | 27,58 | 30,471 | 28,074 |
| Marzo | 40,343 | 43,759 | 39,503 | 42,605 | 41,126 | 39,646 | 43,749 | 40,352 |
| Abril | 49,01 | 53,163 | 47,989 | 51,76 | 49,961 | 48,163 | 53,151 | 49,021 |
| Mayo | 54,398 | 58,811 | 53,311 | 57,32 | 55,404 | 53,488 | 58,799 | 54,409 |
| Junio | 61,604 | 66,507 | 60,394 | 64,852 | 62,718 | 60,585 | 66,496 | 61,614 |
| Julio | 80,405 | 86,365 | 78,94 | 84,352 | 81,749 | 79,147 | 86,347 | 80,421 |
| Agosto | 91,023 | 97,005 | 89,556 | 94,983 | 92,359 | 89,736 | 96,984 | 91,042 |
| Septiembre | 70,887 | 76,532 | 69,495 | 74,626 | 72,165 | 69,704 | 76,518 | 70,899 |
| Octubre | 50,227 | 54,113 | 49,267 | 52,801 | 51,109 | 49,417 | 54,105 | 50,235 |
| Noviembre | 35,365 | 38,567 | 34,572 | 37,486 | 36,103 | 34,72 | 38,561 | 35,37 |
| Diciembre | 20,509 | 22,498 | 20,01 | 21,827 | 20,974 | 20,12 | 22,495 | 20,512 |

Cobertura Solar



ANEXO 3:

Energía en megajulios que incide sobre un metro cuadrado de superficie horizontal en un día medio de cada mes. (Fuente: CENSOLAR).

Energía en megajulios que incide sobre un metro cuadrado de superficie horizontal en un día medio de cada mes. (Fuente: CENSOLAR).

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | AÑO |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 ÁLAVA | 4,6 | 6,9 | 11,2 | 13 | 14,8 | 16,6 | 18,1 | 17,3 | 14,3 | 9,5 | 5,5 | 4,1 | 11,3 |
| 2 ALBACETE | 6,7 | 10,5 | 15 | 19,2 | 21,2 | 25,1 | 26,7 | 23,2 | 18,8 | 12,4 | 8,4 | 6,4 | 16,1 |
| 3 ALICANTE | 8,5 | 12 | 16,3 | 18,9 | 23,1 | 24,8 | 25,8 | 22,5 | 18,3 | 13,6 | 9,8 | 7,6 | 16,8 |
| 4 ALMERÍA | 8,9 | 12,2 | 16,4 | 19,6 | 23,1 | 24,6 | 25,3 | 22,5 | 18,5 | 13,9 | 10 | 8 | 16,9 |
| 5 ASTURIAS | 5,3 | 7,7 | 10,6 | 12,2 | 15 | 15,2 | 16,8 | 14,8 | 12,4 | 9,8 | 5,9 | 4,6 | 10,9 |
| 6 ÁVILA | 6 | 9,1 | 13,5 | 17,7 | 19,4 | 22,3 | 26,3 | 25,3 | 18,8 | 11,2 | 6,9 | 5,2 | 15,1 |
| 7 BADAJOZ | 6,5 | 10 | 13,6 | 18,7 | 21,8 | 24,6 | 25,9 | 23,8 | 17,9 | 12,3 | 8,2 | 6,2 | 15,8 |
| 8 BALEARES | 7,2 | 10,7 | 14,4 | 16,2 | 21 | 22,7 | 24,2 | 20,6 | 16,4 | 12,1 | 8,5 | 6,5 | 15 |
| 9 BARCELONA | 6,5 | 9,5 | 12,9 | 16,1 | 18,6 | 20,3 | 21,6 | 18,1 | 14,6 | 10,8 | 7,2 | 5,8 | 13,5 |
| 10 BURGOS | 5,1 | 7,9 | 12,4 | 16 | 18,7 | 21,5 | 23 | 20,7 | 16,7 | 10,1 | 6,5 | 4,5 | 13,6 |
| 11 CÁCERES | 6,8 | 10 | 14,7 | 19,6 | 22,1 | 25,1 | 28,1 | 25,4 | 19,7 | 12,7 | 8,9 | 6,6 | 16,6 |
| 12 CÁDIZ | 8,1 | 11,5 | 15,7 | 18,5 | 22,2 | 23,8 | 25,9 | 23 | 18,1 | 14,2 | 10 | 7,4 | 16,5 |
| 13 CANTABRIA | 5 | 7,4 | 11 | 13 | 16,1 | 17 | 18,4 | 15,5 | 13 | 9,5 | 5,8 | 4,5 | 11,3 |
| 14 CASTELLÓN | 8 | 12,2 | 15,5 | 17,4 | 20,6 | 21,4 | 23,9 | 19,5 | 16,6 | 13,1 | 8,6 | 7,3 | 15,3 |
| 15 CEUTA | 8,9 | 13,1 | 18,6 | 21 | 24,3 | 26,7 | 26,8 | 24,3 | 19,1 | 14,2 | 11 | 8,6 | 18,1 |
| 16 CIUDAD REAL | 7 | 10,1 | 15 | 18,7 | 21,4 | 23,7 | 25,3 | 23,2 | 18,8 | 12,5 | 8,7 | 6,5 | 15,9 |
| 17 CÓRDOBA | 7,2 | 10,1 | 15,1 | 18,5 | 21,8 | 25,9 | 28,5 | 25,1 | 19,9 | 12,6 | 8,6 | 6,9 | 16,7 |
| 18 LA CORUÑA | 5,4 | 8 | 11,4 | 12,4 | 15,4 | 16,2 | 17,4 | 15,3 | 13,9 | 10,9 | 6,4 | 5,1 | 11,5 |
| 19 CUENCA | 5,9 | 8,8 | 12,9 | 17,4 | 18,7 | 22 | 25,6 | 22,3 | 17,5 | 11,2 | 7,2 | 5,5 | 14,6 |
| 20 GERONA | 7,1 | 10,5 | 14,2 | 15,9 | 18,7 | 19 | 22,3 | 18,5 | 14,9 | 11,7 | 7,8 | 6,6 | 13,9 |
| 21 GRANADA | 7,8 | 10,8 | 15,2 | 18,5 | 21,9 | 24,8 | 26,7 | 23,6 | 18,8 | 12,9 | 9,6 | 7,1 | 16,5 |
| 22 GUADALAJARA | 6,5 | 9,2 | 14 | 17,9 | 19,4 | 22,7 | 25 | 23,2 | 17,8 | 11,7 | 7,8 | 5,6 | 15,1 |
| 23 GUIPÚZCOA | 5,5 | 7,7 | 11,3 | 11,7 | 14,6 | 16,2 | 16,1 | 13,6 | 12,7 | 10,3 | 6,2 | 5 | 10,9 |
| 24 HUELVA | 7,6 | 11,3 | 16 | 19,5 | 24,1 | 25,6 | 28,7 | 25,6 | 21,2 | 14,5 | 9,2 | 7,5 | 17,6 |
| 25 HUESCA | 6,1 | 9,6 | 14,3 | 18,7 | 20,3 | 22,1 | 23,1 | 20,9 | 16,9 | 11,3 | 7,2 | 5,1 | 14,6 |
| 26 JAÉN | 6,7 | 10,1 | 14,4 | 18 | 20,3 | 24,4 | 26,7 | 24,1 | 19,2 | 11,9 | 8,1 | 6,5 | 15,9 |
| 27 LEÓN | 5,8 | 8,7 | 13,8 | 17,2 | 19,5 | 22,1 | 24,2 | 20,9 | 17,2 | 10,4 | 7 | 4,8 | 14,3 |
| 28 LÉRIDA | 6 | 9,9 | 18 | 18,8 | 20,9 | 22,6 | 23,8 | 21,3 | 16,8 | 12,1 | 7,2 | 4,8 | 15,2 |
| 29 LUGO | 5,1 | 7,6 | 11,7 | 15,2 | 17,1 | 19,5 | 20,2 | 18,4 | 15 | 9,9 | 6,2 | 4,5 | 12,5 |
| 30 MADRID | 6,7 | 10,6 | 13,6 | 18,8 | 20,9 | 23,5 | 26 | 23,1 | 16,9 | 11,4 | 7,5 | 5,9 | 15,4 |
| 31 MÁLAGA | 8,3 | 12 | 15,5 | 18,5 | 23,2 | 24,5 | 26,5 | 23,2 | 19 | 13,6 | 9,3 | 8 | 16,8 |
| 32 MELILLA | 9,4 | 12,6 | 17,2 | 20,3 | 23 | 24,8 | 24,8 | 22,6 | 18,3 | 14,2 | 10,9 | 8,7 | 17,2 |
| 33 MURCIA | 10,1 | 14,8 | 16,6 | 20,4 | 24,2 | 25,6 | 27,7 | 23,5 | 18,6 | 13,9 | 9,8 | 8,1 | 17,8 |
| 34 NAVARRA | 5 | 7,4 | 12,3 | 14,5 | 17,1 | 18,9 | 20,5 | 18,2 | 16,2 | 10,2 | 6 | 4,5 | 12,6 |
| 35 ORENSE | 4,7 | 7,3 | 11,3 | 14 | 16,2 | 17,6 | 18,3 | 16,6 | 14,3 | 9,4 | 5,6 | 4,3 | 11,6 |
| 36 PALENCIA | 5,3 | 9 | 13,2 | 17,5 | 19,7 | 21,8 | 24,1 | 21,6 | 17,1 | 10,9 | 6,6 | 4,6 | 14,3 |
| 37 LAS PALMAS | 11,2 | 14,2 | 17,8 | 19,6 | 21,7 | 22,5 | 24,3 | 21,9 | 19,8 | 15,1 | 12,3 | 10,7 | 17,6 |
| 38 PONTEVEDRA | 5,5 | 8,2 | 13 | 15,7 | 17,5 | 20,4 | 22 | 18,9 | 15,1 | 11,3 | 6,8 | 5,5 | 13,3 |
| 39 LA RIOJA | 5,6 | 8,8 | 13,7 | 16,6 | 19,2 | 21,4 | 23,3 | 20,8 | 16,2 | 10,7 | 6,8 | 4,8 | 14 |
| 40 SALAMANCA | 6,1 | 9,5 | 13,5 | 17,1 | 19,7 | 22,8 | 24,6 | 22,6 | 17,5 | 11,3 | 7,4 | 5,2 | 14,8 |
| 41 STA. C. DE TENERIFE | 10,7 | 13,3 | 18,1 | 21,5 | 25,7 | 26,5 | 29,3 | 26,6 | 21,2 | 16,2 | 10,8 | 9,3 | 19,1 |
| 42 SEGOVIA | 5,7 | 8,8 | 13,4 | 18,4 | 20,4 | 22,6 | 25,7 | 24,9 | 18,8 | 11,4 | 6,8 | 5,1 | 15,2 |
| 43 SEVILLA | 7,3 | 10,9 | 14,4 | 19,2 | 22,4 | 24,3 | 24,9 | 23 | 17,9 | 12,3 | 8,8 | 6,9 | 16 |
| 44 SORIA | 5,9 | 8,7 | 12,8 | 17,1 | 19,7 | 21,8 | 24,1 | 22,3 | 17,5 | 11,1 | 7,6 | 5,6 | 14,5 |
| 45 TARRAGONA | 7,3 | 10,7 | 14,9 | 17,6 | 20,2 | 22,5 | 23,8 | 20,5 | 16,4 | 12,3 | 8,8 | 6,3 | 15,1 |
| 46 TERUEL | 6,1 | 8,8 | 12,9 | 16,7 | 18,4 | 20,6 | 21,8 | 20,7 | 16,9 | 11 | 7,1 | 5,3 | 13,9 |
| 47 TOLEDO | 6,2 | 9,5 | 14 | 19,3 | 21 | 24,4 | 27,2 | 24,5 | 18,1 | 11,9 | 7,6 | 5,6 | 15,8 |
| 48 VALENCIA | 7,6 | 10,6 | 14,9 | 18,1 | 20,6 | 22,8 | 23,8 | 20,7 | 16,7 | 12 | 8,7 | 6,6 | 15,3 |
| 49 VALLADOLID | 5,5 | 8,8 | 13,9 | 17,2 | 19,9 | 22,6 | 25,1 | 23 | 18,3 | 11,2 | 6,9 | 4,2 | 14,7 |
| 50 VIZCAYA | 5 | 7,1 | 10,8 | 12,7 | 15,5 | 16,7 | 17,9 | 15,7 | 13,1 | 9,3 | 6 | 4,6 | 11,2 |
| 51 ZAMORA | 5,4 | 8,9 | 13,2 | 17,3 | 22,2 | 21,6 | 23,5 | 22 | 17,2 | 11,1 | 6,7 | 4,6 | 14,5 |
| 52 ZARAGOZA | 6,3 | 9,8 | 15,2 | 18,3 | 21,8 | 24,2 | 25,1 | 23,4 | 18,3 | 12,1 | 7,4 | 5,7 | 15,6 |

Altitud, latitud, longitud y temperatura mínima histórica (la más baja que se haya medido desde el primer año del que se conservan registros de datos). (Fuente: CENSOLAR).

| PROVINCIA | ALTITUD (m) (de la capital) | LATITUD (°) (de la capital) | LONGITUD (°) (de la capital) | TEMP. MÍNIMA HISTÓRICA (°C) |
|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 1 ÁLAVA | 542 | 42,9 | 2,7 W | -18 |
| 2 ALBACETE | 686 | 39,0 | 1,8 W | -23 |
| 3 ALICANTE | 7 | 38,4 | 0,5 W | -5 |
| 4 ALMERÍA | 65 | 36,9 | 2,4 W | -1 |
| 5 ASTURIAS | 232 | 43,4 | 5,8 W | -11 |
| 6 ÁVILA | 1126 | 40,7 | 4,9 W | -21 |
| 7 BADAJOZ | 186 | 38,9 | 7,0 W | -6 |
| 8 BALEARES | 28 | 39,6 | 2,6 E | -4 |
| 9 BARCELONA | 95 | 41,4 | 2,2 E | -7 |
| 10 BURGOS | 929 | 42,3 | 3,7 W | -18 |
| 11 CÁCERES | 459 | 39,5 | 6,4 W | -6 |
| 12 CÁDIZ | 28 | 36,5 | 6,3 W | -2 |
| 13 CANTABRIA | 69 | 43,5 | 3,8 W | -4 |
| 14 CASTELLÓN | 27 | 40,0 | 0 | -8 |
| 15 CEUTA | 206 | 35,9 | 5,3 W | -1 |
| 16 CIUDAD REAL | 628 | 39,0 | 3,9 W | -10 |
| 17 CÓRDOBA | 128 | 37,9 | 4,8 W | -6 |
| 18 LA CORUÑA | 54 | 43,4 | 8,4 W | -9 |
| 19 CUENCA | 949 | 40,1 | 2,1 W | -21 |
| 20 GERONA | 95 | 42,0 | 2,7 E | -11 |
| 21 GRANADA | 775 | 37,2 | 3,7 W | -13 |
| 22 GUADALAJARA | 685 | 40,6 | 3,2 W | -14 |
| 23 GUIPÚZCOA | 181 | 43,3 | 2,0 W | -12 |
| 24 HUELVA | 4 | 37,3 | 6,9 W | -6 |
| 25 HUESCA | 488 | 42,1 | 0,4 W | -14 |
| 26 JAÉN | 586 | 37,8 | 3,8 W | -8 |
| 27 LEÓN | 908 | 42,6 | 5,6 W | -18 |
| 28 LÉRIDA | 323 | 41,7 | 1,2 E | -11 |
| 29 LUGO | 465 | 43,0 | 7,6 W | -8 |
| 30 MADRID | 667 | 40,4 | 3,7 W | -16 |
| 31 MÁLAGA | 40 | 36,7 | 4,4 W | -4 |
| 32 MELILLA | 47 | 35,3 | 3,0 W | -1 |
| 33 MURCIA | 42 | 38,0 | 1,1 W | -5 |
| 34 NAVARRA | 449 | 42,8 | 1,6 W | -16 |
| 35 ORENSE | 139 | 42,3 | 7,8 W | -8 |
| 36 PALENCIA | 734 | 42,0 | 4,5 W | -14 |
| 37 LAS PALMAS | 6 | 28,2 | 15,4 W | +6 |
| 38 PONTEVEDRA | 19 | 42,4 | 8,6 W | -4 |
| 39 LA RIOJA | 380 | 42,5 | 2,4 W | -12 |
| 40 SALAMANCA | 803 | 41,0 | 5,6 W | -16 |
| 41 STA. CRUZ DE TENERIFE | 37 | 28,5 | 16,2 W | +3 |
| 42 SEGOVIA | 1002 | 41,0 | 4,1 W | -17 |
| 43 SEVILLA | 30 | 37,4 | 6,0 W | -6 |
| 44 SORIA | 1063 | 41,8 | 2,5 W | -16 |
| 45 TARRAGONA | 60 | 41,1 | 1,2 E | -7 |
| 46 TERUEL | 915 | 40,4 | 1,1 W | -14 |
| 47 TOLEDO | 540 | 39,9 | 4,0 W | -9 |
| 48 VALENCIA | 10 | 39,5 | 0,4 W | -8 |
| 49 VALLADOLID | 694 | 41,7 | 4,7 W | -16 |
| 50 VIZCAYA | 32 | 43,3 | 3,0 W | -8 |
| 51 ZAMORA | 649 | 41,5 | 5,7 W | -14 |
| 52 ZARAGOZA | 200 | 41,7 | 0,9 W | -11 |

Factor de corrección k para superficies inclinadas. Representa el cociente entre la energía total incidente en un día sobre una superficie orientada hacia el ecuador e inclinada un determinado ángulo, y otra horizontal. (Fuente: CENSOLAR).

LATITUD = 39°

| Incli. | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | 1,07 | 1,06 | 1,04 | 1,03 | 1,02 | 1,01 | 1,02 | 1,03 | 1,05 | 1,07 | 1,09 | 1,08 |
| 10 | 1,14 | 1,11 | 1,08 | 1,05 | 1,03 | 1,02 | 1,03 | 1,06 | 1,1 | 1,14 | 1,17 | 1,16 |
| 15 | 1,19 | 1,16 | 1,11 | 1,07 | 1,03 | 1,02 | 1,03 | 1,07 | 1,13 | 1,2 | 1,24 | 1,23 |
| 20 | 1,25 | 1,2 | 1,14 | 1,07 | 1,03 | 1,01 | 1,03 | 1,08 | 1,16 | 1,25 | 1,31 | 1,29 |
| 25 | 1,29 | 1,23 | 1,15 | 1,07 | 1,02 | 1 | 1,02 | 1,08 | 1,18 | 1,29 | 1,36 | 1,35 |
| 30 | 1,33 | 1,25 | 1,16 | 1,07 | 1 | 0,97 | 1 | 1,08 | 1,19 | 1,33 | 1,41 | 1,4 |
| 35 | 1,35 | 1,27 | 1,16 | 1,05 | 0,97 | 0,94 | 0,98 | 1,06 | 1,2 | 1,35 | 1,45 | 1,43 |
| 40 | 1,37 | 1,27 | 1,15 | 1,03 | 0,94 | 0,91 | 0,94 | 1,04 | 1,19 | 1,37 | 1,48 | 1,46 |
| 45 | 1,38 | 1,27 | 1,14 | 1 | 0,9 | 0,87 | 0,9 | 1,01 | 1,18 | 1,37 | 1,5 | 1,48 |
| 50 | 1,39 | 1,26 | 1,12 | 0,97 | 0,86 | 0,82 | 0,86 | 0,98 | 1,16 | 1,37 | 1,51 | 1,5 |
| 55 | 1,38 | 1,25 | 1,09 | 0,93 | 0,81 | 0,77 | 0,81 | 0,94 | 1,13 | 1,36 | 1,51 | 1,5 |
| 60 | 1,37 | 1,22 | 1,05 | 0,88 | 0,75 | 0,71 | 0,75 | 0,89 | 1,1 | 1,34 | 1,51 | 1,49 |
| 65 | 1,35 | 1,19 | 1,01 | 0,83 | 0,69 | 0,65 | 0,69 | 0,83 | 1,05 | 1,31 | 1,49 | 1,47 |
| 70 | 1,32 | 1,15 | 0,96 | 0,77 | 0,63 | 0,58 | 0,63 | 0,77 | 1 | 1,27 | 1,46 | 1,45 |
| 75 | 1,28 | 1,11 | 0,91 | 0,7 | 0,56 | 0,51 | 0,56 | 0,71 | 0,95 | 1,23 | 1,42 | 1,41 |
| 80 | 1,23 | 1,06 | 0,84 | 0,64 | 0,49 | 0,43 | 0,48 | 0,64 | 0,88 | 1,17 | 1,37 | 1,37 |
| 85 | 1,18 | 1 | 0,78 | 0,56 | 0,41 | 0,35 | 0,41 | 0,56 | 0,81 | 1,11 | 1,32 | 1,32 |
| 90 | 1,12 | 0,93 | 0,71 | 0,49 | 0,33 | 0,28 | 0,33 | 0,49 | 0,74 | 1,04 | 1,25 | 1,26 |

LATITUD = 40°

| Incli. | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | 1,07 | 1,06 | 1,05 | 1,03 | 1,02 | 1,01 | 1,02 | 1,03 | 1,05 | 1,08 | 1,09 | 1,09 |
| 10 | 1,14 | 1,11 | 1,08 | 1,05 | 1,03 | 1,02 | 1,03 | 1,06 | 1,1 | 1,14 | 1,17 | 1,16 |
| 15 | 1,2 | 1,16 | 1,12 | 1,07 | 1,03 | 1,02 | 1,04 | 1,08 | 1,14 | 1,21 | 1,25 | 1,24 |
| 20 | 1,25 | 1,2 | 1,14 | 1,08 | 1,03 | 1,02 | 1,03 | 1,09 | 1,17 | 1,26 | 1,32 | 1,3 |
| 25 | 1,3 | 1,23 | 1,16 | 1,08 | 1,02 | 1 | 1,02 | 1,09 | 1,19 | 1,3 | 1,38 | 1,36 |
| 30 | 1,34 | 1,26 | 1,17 | 1,07 | 1,01 | 0,98 | 1,01 | 1,09 | 1,2 | 1,34 | 1,43 | 1,41 |
| 35 | 1,37 | 1,28 | 1,17 | 1,06 | 0,98 | 0,95 | 0,98 | 1,07 | 1,21 | 1,37 | 1,47 | 1,45 |
| 40 | 1,39 | 1,29 | 1,16 | 1,04 | 0,95 | 0,92 | 0,95 | 1,05 | 1,21 | 1,39 | 1,5 | 1,48 |
| 45 | 1,4 | 1,29 | 1,15 | 1,01 | 0,91 | 0,88 | 0,92 | 1,03 | 1,2 | 1,39 | 1,52 | 1,5 |
| 50 | 1,41 | 1,28 | 1,13 | 0,98 | 0,87 | 0,83 | 0,87 | 0,99 | 1,18 | 1,39 | 1,54 | 1,52 |
| 55 | 1,4 | 1,27 | 1,1 | 0,94 | 0,82 | 0,78 | 0,82 | 0,95 | 1,15 | 1,38 | 1,54 | 1,52 |
| 60 | 1,39 | 1,24 | 1,07 | 0,89 | 0,77 | 0,72 | 0,77 | 0,9 | 1,12 | 1,36 | 1,53 | 1,51 |
| 65 | 1,37 | 1,21 | 1,03 | 0,84 | 0,71 | 0,66 | 0,71 | 0,85 | 1,07 | 1,34 | 1,51 | 1,5 |
| 70 | 1,34 | 1,17 | 0,98 | 0,78 | 0,64 | 0,59 | 0,64 | 0,79 | 1,02 | 1,3 | 1,49 | 1,47 |
| 75 | 1,3 | 1,13 | 0,92 | 0,72 | 0,57 | 0,52 | 0,57 | 0,73 | 0,97 | 1,25 | 1,45 | 1,44 |
| 80 | 1,25 | 1,08 | 0,86 | 0,65 | 0,5 | 0,45 | 0,5 | 0,66 | 0,9 | 1,2 | 1,41 | 1,4 |
| 85 | 1,2 | 1,02 | 0,8 | 0,58 | 0,43 | 0,37 | 0,42 | 0,58 | 0,84 | 1,14 | 1,35 | 1,35 |
| 90 | 1,14 | 0,95 | 0,73 | 0,5 | 0,35 | 0,29 | 0,34 | 0,5 | 0,76 | 1,07 | 1,29 | 1,29 |

Temperatura ambiente media durante las horas de sol, en °C. (Fuente: CENSOLAR).

| | | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | AÑO |
|----|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 1 | ÁLAVA | 7 | 7 | 11 | 12 | 15 | 19 | 21 | 21 | 19 | 15 | 10 | 7 | 13,7 |
| 2 | ALBACETE | 6 | 8 | 11 | 13 | 17 | 22 | 26 | 26 | 22 | 16 | 11 | 7 | 15,4 |
| 3 | ALICANTE | 13 | 14 | 16 | 18 | 21 | 25 | 28 | 28 | 26 | 21 | 17 | 14 | 20,1 |
| 4 | ALMERÍA | 15 | 15 | 16 | 18 | 21 | 24 | 27 | 28 | 26 | 22 | 18 | 16 | 20,5 |
| 5 | ASTURIAS | 9 | 10 | 11 | 12 | 15 | 18 | 20 | 20 | 19 | 16 | 12 | 10 | 14,3 |
| 6 | ÁVILA | 4 | 5 | 8 | 11 | 14 | 18 | 22 | 22 | 18 | 13 | 8 | 5 | 12,3 |
| 7 | BADAJOS | 11 | 12 | 15 | 17 | 20 | 25 | 28 | 28 | 25 | 20 | 15 | 11 | 18,9 |
| 8 | BALEARES | 12 | 13 | 14 | 17 | 19 | 23 | 26 | 27 | 25 | 20 | 16 | 14 | 18,8 |
| 9 | BARCELONA | 11 | 12 | 14 | 17 | 20 | 24 | 26 | 26 | 24 | 20 | 16 | 12 | 18,5 |
| 10 | BURGOS | 5 | 6 | 9 | 11 | 14 | 18 | 21 | 21 | 18 | 13 | 9 | 5 | 12,5 |
| 11 | CÁCERES | 10 | 11 | 14 | 16 | 19 | 25 | 28 | 28 | 25 | 19 | 14 | 10 | 18,3 |
| 12 | CÁDIZ | 13 | 15 | 17 | 19 | 21 | 24 | 27 | 27 | 25 | 22 | 18 | 15 | 20,3 |
| 13 | CANTABRIA | 11 | 11 | 14 | 14 | 16 | 19 | 21 | 21 | 20 | 17 | 14 | 12 | 15,8 |
| 14 | CASTELLÓN | 13 | 13 | 15 | 17 | 20 | 24 | 26 | 27 | 25 | 21 | 16 | 13 | 19,2 |
| 15 | CEUTA | 15 | 15 | 16 | 17 | 19 | 23 | 25 | 26 | 24 | 21 | 18 | 16 | 19,6 |
| 16 | CIUDAD REAL | 7 | 9 | 12 | 15 | 18 | 23 | 28 | 27 | 20 | 17 | 11 | 8 | 16,3 |
| 17 | CÓRDOBA | 11 | 13 | 16 | 18 | 21 | 26 | 30 | 30 | 26 | 21 | 16 | 12 | 20 |
| 18 | LA CORUÑA | 12 | 12 | 14 | 14 | 16 | 19 | 20 | 21 | 20 | 17 | 14 | 12 | 15,9 |
| 19 | CUENCA | 5 | 6 | 9 | 12 | 15 | 20 | 24 | 23 | 20 | 14 | 9 | 6 | 13,6 |
| 20 | GERONA | 9 | 10 | 13 | 15 | 19 | 23 | 26 | 25 | 23 | 18 | 13 | 10 | 17 |
| 21 | GRANADA | 9 | 10 | 13 | 16 | 18 | 24 | 27 | 27 | 24 | 18 | 13 | 9 | 17,3 |
| 22 | GUADALAJARA | 7 | 8 | 12 | 14 | 18 | 22 | 26 | 26 | 22 | 16 | 10 | 8 | 15,8 |
| 23 | GUIPÚZCOA | 10 | 10 | 13 | 14 | 16 | 19 | 21 | 21 | 20 | 17 | 13 | 10 | 15,3 |
| 24 | HUELVA | 13 | 14 | 16 | 20 | 21 | 24 | 27 | 27 | 25 | 21 | 17 | 14 | 19,9 |
| 25 | HUESCA | 7 | 8 | 12 | 15 | 18 | 22 | 25 | 25 | 21 | 16 | 11 | 7 | 15,6 |
| 26 | JAÉN | 11 | 11 | 14 | 17 | 21 | 26 | 30 | 29 | 25 | 19 | 15 | 10 | 19 |
| 27 | LEÓN | 5 | 6 | 10 | 12 | 15 | 19 | 22 | 22 | 19 | 14 | 9 | 6 | 13,3 |
| 28 | LÉRIDA | 7 | 10 | 14 | 15 | 21 | 24 | 27 | 27 | 23 | 18 | 11 | 8 | 17,1 |
| 29 | LUGO | 8 | 9 | 11 | 13 | 15 | 18 | 20 | 21 | 19 | 15 | 11 | 8 | 14 |
| 30 | MADRID | 6 | 8 | 11 | 13 | 18 | 23 | 28 | 26 | 21 | 15 | 11 | 7 | 15,6 |
| 31 | MÁLAGA | 15 | 15 | 17 | 19 | 21 | 25 | 27 | 28 | 26 | 22 | 18 | 15 | 20,7 |
| 32 | MELILLA | 15 | 15 | 16 | 18 | 21 | 25 | 27 | 28 | 26 | 22 | 18 | 16 | 20,6 |
| 33 | MURCIA | 12 | 12 | 15 | 17 | 21 | 25 | 28 | 28 | 25 | 20 | 16 | 12 | 19,3 |
| 34 | NAVARRA | 7 | 7 | 11 | 13 | 16 | 20 | 22 | 23 | 20 | 15 | 10 | 8 | 14,3 |
| 35 | ORENSE | 9 | 9 | 13 | 15 | 18 | 21 | 24 | 23 | 21 | 16 | 12 | 9 | 15,8 |
| 36 | PALENCIA | 5 | 7 | 10 | 13 | 16 | 20 | 23 | 23 | 20 | 14 | 9 | 6 | 13,8 |
| 37 | LAS PALMAS | 20 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 20 | 26 | 25 | 23 | 21 | 22,5 |
| 38 | PONTEVEDRA | 11 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 23 | 20 | 17 | 14 | 12 | 16,6 |
| 39 | LA RIOJA | 7 | 9 | 12 | 14 | 17 | 21 | 24 | 24 | 21 | 16 | 11 | 8 | 15,3 |
| 40 | SALAMANCA | 6 | 7 | 10 | 13 | 16 | 20 | 24 | 23 | 20 | 14 | 9 | 6 | 14 |
| 41 | STA. C. DE TENERIFE | 19 | 20 | 20 | 21 | 22 | 24 | 26 | 27 | 26 | 25 | 23 | 20 | 22,8 |
| 42 | SEGOVIA | 4 | 6 | 10 | 12 | 15 | 20 | 24 | 23 | 20 | 14 | 9 | 5 | 13,5 |
| 43 | SEVILLA | 11 | 13 | 14 | 17 | 21 | 25 | 29 | 29 | 24 | 20 | 16 | 12 | 19,3 |
| 44 | SORIA | 4 | 6 | 9 | 11 | 14 | 19 | 22 | 22 | 18 | 13 | 8 | 5 | 12,6 |
| 45 | TARRAGONA | 11 | 12 | 14 | 16 | 19 | 22 | 25 | 26 | 23 | 20 | 15 | 12 | 17,9 |
| 46 | TERUEL | 5 | 6 | 9 | 12 | 16 | 20 | 23 | 24 | 19 | 14 | 9 | 6 | 13,6 |
| 47 | TOLEDO | 8 | 9 | 13 | 15 | 19 | 24 | 28 | 27 | 23 | 17 | 12 | 8 | 16,9 |
| 48 | VALENCIA | 12 | 13 | 15 | 17 | 20 | 23 | 26 | 27 | 24 | 20 | 16 | 13 | 18,8 |
| 49 | VALLADOLID | 4 | 6 | 9 | 12 | 17 | 21 | 24 | 23 | 18 | 13 | 8 | 4 | 13,3 |
| 50 | VIZCAYA | 10 | 11 | 12 | 13 | 16 | 20 | 22 | 22 | 20 | 16 | 13 | 10 | 15,4 |
| 51 | ZAMORA | 6 | 7 | 11 | 13 | 16 | 21 | 24 | 23 | 20 | 15 | 10 | 6 | 14,3 |
| 52 | ZARAGOZA | 8 | 10 | 13 | 16 | 19 | 23 | 26 | 26 | 23 | 17 | 12 | 9 | 16,8 |

Temperatura media del agua de la red general, en °C. (Fuente: CENSOLAR).

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | AÑO |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 1 ÁLAVA | 5 | 6 | 8 | 10 | 11 | 12 | 13 | 12 | 11 | 10 | 8 | 5 | 9,3 |
| 2 ALBACETE | 5 | 6 | 8 | 10 | 11 | 12 | 13 | 12 | 11 | 10 | 8 | 5 | 9,3 |
| 3 ALICANTE | 8 | 9 | 11 | 13 | 14 | 15 | 16 | 15 | 14 | 13 | 11 | 8 | 12,3 |
| 4 ALMERÍA | 8 | 9 | 11 | 13 | 14 | 15 | 16 | 15 | 14 | 13 | 11 | 8 | 12,3 |
| 5 ASTURIAS | 6 | 7 | 9 | 11 | 12 | 13 | 14 | 13 | 12 | 11 | 9 | 6 | 10,3 |
| 6 ÁVILA | 4 | 5 | 7 | 9 | 10 | 11 | 12 | 11 | 10 | 9 | 7 | 4 | 8,3 |
| 7 BADAJOZ | 6 | 7 | 9 | 11 | 12 | 13 | 14 | 13 | 12 | 11 | 9 | 6 | 10,3 |
| 8 BALEARES | 8 | 9 | 11 | 13 | 14 | 15 | 16 | 15 | 14 | 13 | 11 | 8 | 12,3 |
| 9 BARCELONA | 8 | 9 | 11 | 13 | 14 | 15 | 16 | 15 | 14 | 13 | 11 | 8 | 12,3 |
| 10 BURGOS | 4 | 5 | 7 | 9 | 10 | 11 | 12 | 11 | 10 | 9 | 7 | 4 | 8,3 |
| 11 CÁCERES | 6 | 7 | 9 | 11 | 12 | 13 | 14 | 13 | 12 | 11 | 9 | 6 | 10,3 |
| 12 CÁDIZ | 8 | 9 | 11 | 13 | 14 | 15 | 16 | 15 | 14 | 13 | 11 | 8 | 12,3 |
| 13 CANTABRIA | 8 | 9 | 11 | 13 | 14 | 15 | 16 | 15 | 14 | 13 | 11 | 8 | 12,3 |
| 14 CASTELLÓN | 8 | 9 | 11 | 13 | 14 | 15 | 16 | 15 | 14 | 13 | 11 | 8 | 12,3 |
| 15 CEUTA | 8 | 9 | 10 | 12 | 13 | 13 | 14 | 13 | 13 | 12 | 11 | 8 | 11,3 |
| 16 CIUDAD REAL | 5 | 6 | 8 | 10 | 11 | 12 | 13 | 12 | 11 | 10 | 8 | 5 | 9,3 |
| 17 CÓRDOBA | 6 | 7 | 9 | 11 | 12 | 13 | 14 | 13 | 12 | 11 | 9 | 6 | 10,3 |
| 18 LA CORUÑA | 8 | 9 | 11 | 13 | 14 | 15 | 16 | 15 | 14 | 13 | 11 | 8 | 12,3 |
| 19 CUENCA | 4 | 5 | 7 | 9 | 10 | 11 | 12 | 11 | 10 | 9 | 7 | 4 | 8,3 |
| 20 GERONA | 6 | 7 | 9 | 11 | 12 | 13 | 14 | 13 | 12 | 11 | 9 | 6 | 10,3 |
| 21 GRANADA | 6 | 7 | 9 | 11 | 12 | 13 | 14 | 13 | 12 | 11 | 9 | 6 | 10,3 |
| 22 GUADALAJARA | 6 | 7 | 9 | 11 | 12 | 13 | 14 | 13 | 12 | 11 | 9 | 6 | 10,3 |
| 23 GUIPÚZCOA | 8 | 9 | 11 | 13 | 14 | 15 | 16 | 15 | 14 | 13 | 11 | 8 | 12,3 |
| 24 HUELVA | 8 | 9 | 11 | 13 | 14 | 15 | 16 | 15 | 14 | 13 | 11 | 8 | 12,3 |
| 25 HUESCA | 5 | 6 | 8 | 10 | 11 | 12 | 13 | 12 | 11 | 10 | 8 | 5 | 9,3 |
| 26 JAÉN | 8 | 9 | 11 | 13 | 14 | 15 | 17 | 16 | 14 | 13 | 11 | 7 | 12,3 |
| 27 LEÓN | 4 | 5 | 7 | 9 | 10 | 11 | 12 | 11 | 10 | 9 | 7 | 4 | 8,3 |
| 28 LÉRIDA | 5 | 6 | 8 | 10 | 11 | 12 | 13 | 12 | 11 | 10 | 8 | 5 | 9,3 |
| 29 LUGO | 6 | 7 | 9 | 11 | 12 | 13 | 14 | 13 | 12 | 11 | 9 | 6 | 10,3 |
| 30 MADRID | 6 | 7 | 9 | 11 | 12 | 13 | 14 | 13 | 12 | 11 | 9 | 6 | 10,3 |
| 31 MÁLAGA | 8 | 9 | 11 | 13 | 14 | 15 | 16 | 15 | 14 | 13 | 11 | 8 | 12,3 |
| 32 MELILLA | 8 | 9 | 11 | 13 | 14 | 15 | 16 | 15 | 14 | 13 | 11 | 8 | 12,3 |
| 33 MURCIA | 8 | 9 | 11 | 13 | 14 | 15 | 16 | 15 | 14 | 13 | 11 | 8 | 12,3 |
| 34 NAVARRA | 5 | 6 | 8 | 10 | 11 | 12 | 13 | 12 | 11 | 10 | 8 | 5 | 9,3 |
| 35 ORENSE | 5 | 7 | 9 | 11 | 12 | 13 | 14 | 13 | 12 | 11 | 9 | 6 | 10,2 |
| 36 PALENCIA | 5 | 6 | 8 | 10 | 11 | 12 | 13 | 12 | 11 | 10 | 8 | 5 | 9,3 |
| 37 LAS PALMAS | 8 | 9 | 11 | 13 | 14 | 15 | 16 | 15 | 14 | 13 | 11 | 8 | 12,3 |
| 38 PONTEVEDRA | 8 | 9 | 11 | 13 | 14 | 15 | 16 | 15 | 14 | 13 | 11 | 8 | 12,3 |
| 39 LA RIOJA | 6 | 7 | 9 | 11 | 12 | 13 | 14 | 13 | 12 | 11 | 9 | 6 | 10,3 |
| 40 SALAMANCA | 5 | 6 | 8 | 10 | 11 | 12 | 13 | 12 | 11 | 10 | 8 | 5 | 9,3 |
| 41 STA. C. DE TENERIFE | 8 | 9 | 11 | 13 | 14 | 15 | 16 | 15 | 14 | 13 | 11 | 8 | 12,3 |
| 42 SEGOVIA | 4 | 5 | 7 | 9 | 10 | 11 | 12 | 11 | 10 | 9 | 7 | 4 | 8,3 |
| 43 SEVILLA | 8 | 9 | 11 | 13 | 14 | 15 | 16 | 15 | 14 | 13 | 11 | 8 | 12,3 |
| 44 SORIA | 4 | 5 | 7 | 9 | 10 | 11 | 12 | 11 | 10 | 9 | 7 | 4 | 8,3 |
| 45 TARRAGONA | 6 | 7 | 9 | 11 | 12 | 13 | 14 | 13 | 12 | 11 | 9 | 6 | 10,3 |
| 46 TERUEL | 4 | 5 | 7 | 9 | 10 | 11 | 12 | 11 | 10 | 9 | 7 | 4 | 8,3 |
| 47 TOLEDO | 6 | 7 | 9 | 11 | 12 | 13 | 14 | 13 | 12 | 11 | 9 | 6 | 10,3 |
| 48 VALENCIA | 8 | 9 | 11 | 13 | 14 | 15 | 16 | 15 | 14 | 13 | 11 | 8 | 12,3 |
| 49 VALLADOLID | 5 | 6 | 8 | 10 | 11 | 12 | 13 | 12 | 11 | 10 | 8 | 5 | 9,3 |
| 50 VIZCAYA | 6 | 7 | 9 | 11 | 12 | 13 | 14 | 13 | 12 | 11 | 9 | 6 | 10,3 |
| 51 ZAMORA | 5 | 6 | 8 | 10 | 11 | 12 | 13 | 12 | 11 | 10 | 8 | 5 | 9,3 |
| 52 ZARAGOZA | 5 | 6 | 8 | 10 | 11 | 12 | 13 | 12 | 11 | 10 | 8 | 5 | 9,3 |

Contribución Solar mínima en %. Caso general. (Fuente: CTE).

| Demanda total de ACS del edificio (l/d) | Zona climática | | | | |
|--|----------------|----|-----|----|----|
| | I | II | III | IV | V |
| 50-5.000 | 30 | 30 | 50 | 60 | 70 |
| 5.000-6.000 | 30 | 30 | 55 | 65 | 70 |
| 6.000-7.000 | 30 | 35 | 61 | 70 | 70 |
| 7.000-8.000 | 30 | 45 | 63 | 70 | 70 |
| 8.000-9.000 | 30 | 52 | 65 | 70 | 70 |
| 9.000-10.000 | 30 | 55 | 70 | 70 | 70 |
| 10.000-12.500 | 30 | 65 | 70 | 70 | 70 |
| 12.500-15.000 | 30 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| 15.000-17.500 | 35 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| 17.500-20.000 | 45 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| > 20.000 | 52 | 70 | 70 | 70 | 70 |

Tabla 2.2. Contribución solar mínima en %. Caso Efecto Joule

| Demanda total de ACS del edificio (l/d) | Zona climática | | | | |
|--|----------------|----|-----|----|----|
| | I | II | III | IV | V |
| 50-1.000 | 50 | 60 | 70 | 70 | 70 |
| 1.000-2.000 | 50 | 63 | 70 | 70 | 70 |
| 2.000-3.000 | 50 | 66 | 70 | 70 | 70 |
| 3.000-4.000 | 51 | 69 | 70 | 70 | 70 |
| 4.000-5.000 | 58 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| 5.000-6.000 | 62 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| > 6.000 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 |

ANEXO 4:



FICHA TÉCNICA DEL CAPTADOR SOLAR ESCOSOL SOL 2300 SELECTIVO TITAN






1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS


| DIMENSIONES DEL COLECTOR | | SOL 2300 Selectivo Titan |
|-------------------------------|---------------------------------|--|
| Largo | mm | 1.900 |
| Ancho | mm | 1.213 |
| Altura | mm | 106 |
| SUPERFICIES DE REFERENCIA | | |
| Área del absorbedor | m ² | 2,07 |
| Área de apertura | m ² | 2,16 |
| Área total | m ² | 2,30 |
| ESPECIFICACIONES GENERALES | | |
| Tipo de colector | | Plano |
| Peso vacío | Kg | 41,2 |
| Peso lleno | Kg | 43,7 |
| Fluido calor - portante | | Propilen-glicol-agua |
| Caudal mínimo | l/h | 75 |
| Caudal máximo aconsejable | l/h/m ² | 120 |
| Caída de presión | | 140 Pa a 4,9 Kg/min y ((20±2)°C |
| Presión máxima de servicio | bar | 10 |
| Temperatura máxima de trabajo | °C | 200 |
| Contenido de fluido | litros | 2,5 |
| Material de la estructura | | Perfil de aluminio pintado |
| Juntas de sellado | | Caucho EPDM |
| Aislamiento térmico Material | | Poliuretano libre de CFC 25 mm espesor Lana de vidrio 25 mm espesor |
| Conductividad | W/m °C | Poliuretano: 0,030; Lana de vidrio: 0,036 |
| Vidrio características | | Vidrio templado prismático bajo contenido férrico |
| Espesor | mm | 4 |
| ABSORBEDOR | | |
| Material | | Cobre |
| Recubrimiento | | Altamente selectivo |
| Construcción | | Cobre, 10 tubos de 12 mm verticales 2 Colectores de Ø22mm |
| RENDIMIENTO TÉRMICO | | |
| Rendimiento óptico η_0 | | 0,775 |
| Pérdidas lineales a_1 | W/m ² K | 3,67 |
| Pérdidas cuadráticas a_2 | W/m ² K ² | 0,020 |

INFORME DE ENSAYO DE RENDIMIENTO DEL CAPTADOR SOLAR

| | | |
|---|--|---|
|  | INFORME DE ENSAYO <i>TEST REPORT</i> |  |
| <div data-bbox="512 678 1134 768" style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> Captador Solar Térmico <i>Solar thermal Collector</i> </div> <div data-bbox="512 842 1134 994" style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center; background-color: #f0f0f0;"> ESCOSOL SOL 2300 SELECTIVO TITAN SALVADOR ESCODA S.A. </div> <div data-bbox="512 1093 1134 1155" style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> Informe de Ensayo de Rendimiento de Captador Solar <i>Performance test Report for solar collectors</i> </div> <div data-bbox="703 1588 941 1729" style="text-align: center; margin-top: 200px;"> FUNDACIÓN CENER - CIEMAT Laboratorio de Captadores Solares <i>Solar Collectors Laboratory</i> Avda. Ciudad de la Innovación, nº 7 31621 Sarriena-Navarra España Spain </div> <div data-bbox="619 1756 1034 1800" style="text-align: center; margin-top: 20px;"> Laboratorio de ensayo acreditado por ENAC con expediente nº 355/LE977 <i>The Testing Laboratory has been accredited by ENAC with the file nº 355/LE977</i> </div> | | |
| Informe / Test report nº: 30.0866.0-2 Anexo 6 | Fecha de emisión / Date of issue : 26/08/2008 | Página / Page : 1/11 |

|  | INFORME DE ENSAYO TEST REPORT | LABORATORIO DE CAPTADORES SOLARES SOLAR COLLECTORS LABORATORY | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|---|--|------------------------------------|--|--|--|---|---|--|-------|---|------------|--|---------------------|--|--|-----------------------------------|----------------------|-------------------------------------|---|---|------------|--|---------------------|---|--|------------|------------|---------------------|-------|
| INFORME DE ENSAYOS DE RENDIMIENTO PERFORMANCE TEST REPORT SHEETS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Proyecto / Project : 30.0866.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Id. del captador / Identification :</td> <td>30.0866.0-2</td> </tr> <tr> <td>Fabricante / Manufacturer :</td> <td>EZINÇ METAL SAN. TİC. A.Ş</td> </tr> <tr> <td>Nombre comercial / Brand Name :</td> <td>ESCOSOL SOL 2300 SELECTIVO TITAN</td> </tr> <tr> <td>Tipo de captador (sin cubierta/ con cubierta / de vacío) :</td> <td>Captador plano con cubierta / Glazed flat-plate collector</td> </tr> <tr> <td><i>Type name (Flat plate / Evacuated / Subatmospheric) :</i></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Año de producción / Year of Production :</td> <td>2008</td> </tr> <tr> <td>Número de serie / Serial Number :</td> <td>8604</td> </tr> <tr> <td>Dibujos documento nº / Drawing Document N°:</td> <td>--</td> </tr> <tr> <td>Peticionario / Applicant :</td> <td>SALVADOR ESCODA S.A.</td> </tr> <tr> <td>Domicilio social / Address :</td> <td>c/ Provença, 392 Planta 2 08025 Barcelona (España)</td> </tr> <tr> <td>Entrega de la muestra / Delivery of sample :</td> <td>10/04/2008</td> </tr> <tr> <td>Fecha de inicio / Initial Test Date :</td> <td>11/04/2008</td> </tr> <tr> <td>Fecha de fin / Final Test Date :</td> <td>14/08/2008</td> </tr> </table> | | | Id. del captador / Identification : | 30.0866.0-2 | Fabricante / Manufacturer : | EZINÇ METAL SAN. TİC. A.Ş | Nombre comercial / Brand Name : | ESCOSOL SOL 2300 SELECTIVO TITAN | Tipo de captador (sin cubierta/ con cubierta / de vacío) : | Captador plano con cubierta / Glazed flat-plate collector | <i>Type name (Flat plate / Evacuated / Subatmospheric) :</i> | | Año de producción / Year of Production : | 2008 | Número de serie / Serial Number : | 8604 | Dibujos documento nº / Drawing Document N°: | -- | Peticionario / Applicant : | SALVADOR ESCODA S.A. | Domicilio social / Address : | c/ Provença, 392 Planta 2 08025 Barcelona (España) | Entrega de la muestra / Delivery of sample : | 10/04/2008 | Fecha de inicio / Initial Test Date : | 11/04/2008 | Fecha de fin / Final Test Date : | 14/08/2008 | | | | |
| Id. del captador / Identification : | 30.0866.0-2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fabricante / Manufacturer : | EZINÇ METAL SAN. TİC. A.Ş | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nombre comercial / Brand Name : | ESCOSOL SOL 2300 SELECTIVO TITAN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tipo de captador (sin cubierta/ con cubierta / de vacío) : | Captador plano con cubierta / Glazed flat-plate collector | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Type name (Flat plate / Evacuated / Subatmospheric) :</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Año de producción / Year of Production : | 2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Número de serie / Serial Number : | 8604 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dibujos documento nº / Drawing Document N°: | -- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Peticionario / Applicant : | SALVADOR ESCODA S.A. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Domicilio social / Address : | c/ Provença, 392 Planta 2 08025 Barcelona (España) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Entrega de la muestra / Delivery of sample : | 10/04/2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fecha de inicio / Initial Test Date : | 11/04/2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fecha de fin / Final Test Date : | 14/08/2008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">Método de ensayo:</td> <td>El ensayo se ha realizado de acuerdo al apartado 6.1 de la norma UNE-EN 12975-2:2006, así como al método de ensayo de régimen interno nº ME-542-01.</td> </tr> <tr> <td><i>Test Method:</i></td> <td><i>This test was done according to the paragraph 6.1 of the standard UNE-EN 12975-2:2006 and the internal method number ME-542-01.</i></td> </tr> </table> | | | Método de ensayo: | El ensayo se ha realizado de acuerdo al apartado 6.1 de la norma UNE-EN 12975-2:2006, así como al método de ensayo de régimen interno nº ME-542-01. | <i>Test Method:</i> | <i>This test was done according to the paragraph 6.1 of the standard UNE-EN 12975-2:2006 and the internal method number ME-542-01.</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Método de ensayo: | El ensayo se ha realizado de acuerdo al apartado 6.1 de la norma UNE-EN 12975-2:2006, así como al método de ensayo de régimen interno nº ME-542-01. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Test Method:</i> | <i>This test was done according to the paragraph 6.1 of the standard UNE-EN 12975-2:2006 and the internal method number ME-542-01.</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">Declaraciones:</td> <td>Los resultados de este informe se refieren únicamente a la muestra ensayada. CENER no se responsabiliza de las conclusiones o generalizaciones que pudieran obtenerse de los resultados. Este informe no podrá ser parcialmente reproducido sin la aprobación del Laboratorio de Captadores Solares de CENER. No se ha realizado método de muestreo en la elección del captador. La muestra de ensayo ha sido aportada por el cliente.</td> </tr> <tr> <td><i>Remarks :</i></td> <td><i>The results of this report are focused just to the tested collector. CENER is not responsible of the conclusions taken from this report. This certificate may not be partially reproduced, except with the prior written permission of CENER. Sample selection was not done. The test sample has been provided by the customer.</i></td> </tr> </table> | | | Declaraciones: | Los resultados de este informe se refieren únicamente a la muestra ensayada. CENER no se responsabiliza de las conclusiones o generalizaciones que pudieran obtenerse de los resultados. Este informe no podrá ser parcialmente reproducido sin la aprobación del Laboratorio de Captadores Solares de CENER. No se ha realizado método de muestreo en la elección del captador. La muestra de ensayo ha sido aportada por el cliente. | <i>Remarks :</i> | <i>The results of this report are focused just to the tested collector. CENER is not responsible of the conclusions taken from this report. This certificate may not be partially reproduced, except with the prior written permission of CENER. Sample selection was not done. The test sample has been provided by the customer.</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Declaraciones: | Los resultados de este informe se refieren únicamente a la muestra ensayada. CENER no se responsabiliza de las conclusiones o generalizaciones que pudieran obtenerse de los resultados. Este informe no podrá ser parcialmente reproducido sin la aprobación del Laboratorio de Captadores Solares de CENER. No se ha realizado método de muestreo en la elección del captador. La muestra de ensayo ha sido aportada por el cliente. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Remarks :</i> | <i>The results of this report are focused just to the tested collector. CENER is not responsible of the conclusions taken from this report. This certificate may not be partially reproduced, except with the prior written permission of CENER. Sample selection was not done. The test sample has been provided by the customer.</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Ensayos solicitados por cliente</th> <th>Fecha inicio</th> <th>Fecha final</th> <th>Norma aplicada</th> <th>Apartado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cte. de tiempo <i>Time constant</i></td> <td>14/04/2008</td> <td>14/04/2008</td> <td>UNE-EN 12975-2:2006</td> <td>6.1.6</td> </tr> <tr> <td>Curva de eficiencia <i>Efficiency curve</i></td> <td>14/04/2008</td> <td>14/08/2008</td> <td>UNE-EN 12975-2:2006</td> <td>6.1.5</td> </tr> <tr> <td>Modificador de ángulo <i>Incidence angle modifier</i></td> <td>15/07/2008</td> <td>15/07/2008</td> <td>UNE-EN 12975-2:2006</td> <td>6.1.7</td> </tr> <tr> <td>Capacidad térmica <i>Thermal capacity</i></td> <td>08/08/2008</td> <td>08/08/2008</td> <td>UNE-EN 12975-2:2006</td> <td>6.1.6</td> </tr> <tr> <td>Caída de presión <i>Pressure drop</i></td> <td>14/04/2008</td> <td>14/04/2008</td> <td>UNE-EN 12975-2:2006</td> <td>6.1.8</td> </tr> </tbody> </table> | | | Ensayos solicitados por cliente | Fecha inicio | Fecha final | Norma aplicada | Apartado | Cte. de tiempo <i>Time constant</i> | 14/04/2008 | 14/04/2008 | UNE-EN 12975-2:2006 | 6.1.6 | Curva de eficiencia <i>Efficiency curve</i> | 14/04/2008 | 14/08/2008 | UNE-EN 12975-2:2006 | 6.1.5 | Modificador de ángulo <i>Incidence angle modifier</i> | 15/07/2008 | 15/07/2008 | UNE-EN 12975-2:2006 | 6.1.7 | Capacidad térmica <i>Thermal capacity</i> | 08/08/2008 | 08/08/2008 | UNE-EN 12975-2:2006 | 6.1.6 | Caída de presión <i>Pressure drop</i> | 14/04/2008 | 14/04/2008 | UNE-EN 12975-2:2006 | 6.1.8 |
| Ensayos solicitados por cliente | Fecha inicio | Fecha final | Norma aplicada | Apartado | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cte. de tiempo <i>Time constant</i> | 14/04/2008 | 14/04/2008 | UNE-EN 12975-2:2006 | 6.1.6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Curva de eficiencia <i>Efficiency curve</i> | 14/04/2008 | 14/08/2008 | UNE-EN 12975-2:2006 | 6.1.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Modificador de ángulo <i>Incidence angle modifier</i> | 15/07/2008 | 15/07/2008 | UNE-EN 12975-2:2006 | 6.1.7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Capacidad térmica <i>Thermal capacity</i> | 08/08/2008 | 08/08/2008 | UNE-EN 12975-2:2006 | 6.1.6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Caída de presión <i>Pressure drop</i> | 14/04/2008 | 14/04/2008 | UNE-EN 12975-2:2006 | 6.1.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Signatario autorizado: <i>Authorized signatory:</i> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div> Firmado digitalmente por Lourdes Ramirez Santigosa Fecha: 2008.08.26 14:37:39 +02'00' </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 5px;"> Jefe de Servicio <i>Manager of C&C unit</i> </div> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%;">Informe / Test report nº: 30.0866.0-2 Anexo 6</td> <td style="width: 30%;">Fecha de emisión / Date of issue : 26/08/2008</td> <td style="width: 30%;">Página / Page : 2/11</td> </tr> </table> | | | Informe / Test report nº: 30.0866.0-2 Anexo 6 | Fecha de emisión / Date of issue : 26/08/2008 | Página / Page : 2/11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Informe / Test report nº: 30.0866.0-2 Anexo 6 | Fecha de emisión / Date of issue : 26/08/2008 | Página / Page : 2/11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|--|---|---|--|---------------------------|---------------------|--|------------------------------------|---------------------|--|--------------------------------------|---------------------|--|------------------------------------|---------|--|--|------------|--|--|---|---|---|----|-----------------------------------|----|--------------------------------|----|---|---|---|--|--|---------------------|---------|--|-----------------|---------|--|-------------------|--------|--|--------------------------------|---------|--|---------------------------------------|-------|--|--------------------------------------|---|--|---|---|--|---|------|--|--|--------|--|--|---------|--|--|---------|--|
|  | INFORME DE ENSAYO TEST REPORT | LABORATORIO DE CAPTADORES SOLARES SOLAR COLLECTORS LABORATORY | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>1. Generalidades / General</p> <p>Referencia de captador / Collector reference N°: 30.0866.0-2</p> <p>Ensayo realizado por / Test performed by:</p> <p style="margin-left: 40px;">Fundación CENER-CIEMAT Laboratorio de ensayos de captadores solares Avda. Ciudad de la Innovación, nº 7 31621 – Sarriena - Navarra - España Tel.: + 34 948 25 28 00 Fax: + 34 948 27 07 74</p> <p>2. Descripción del captador solar / Solar collector description</p> <p>Nombre del fabricante / Manufacturer Name : EZİNC METAL SAN. TİC. A.Ş</p> <p>2.1. Captador / Collector</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Tipo: Plano / de vacío / subatmosférico <i>Type: Flat plate / Evacuated / Subatmospheric</i></td> <td colspan="2">Captador plano con cubierta / Glazed flat-plate collector</td> </tr> <tr> <td>Área total / Gross area :</td> <td colspan="2">2,30 m²</td> </tr> <tr> <td>Área de apertura / Aperture area :</td> <td colspan="2">2,16 m²</td> </tr> <tr> <td>Área de absorbedor / Absorber area :</td> <td colspan="2">2,07 m²</td> </tr> <tr> <td>Rango de flujo / Flow range (EC) :</td> <td colspan="2">160 l/h</td> </tr> <tr> <td>Presión de operación / Operating pressure (EC) :</td> <td colspan="2">Máx: 9 bar</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">Montaje del captador: <i>Collector mounting :</i></td> <td>En tejado con inclinación / On sloping roof</td> <td style="text-align: center;">X</td> </tr> <tr> <td>Integrado en tejado con inclinación / Sloping roof integrated</td> <td style="text-align: center;">--</td> </tr> <tr> <td>Sobre tejado plano / On flat roof</td> <td style="text-align: center;">--</td> </tr> <tr> <td>En tejado plano / In flat roof</td> <td style="text-align: center;">--</td> </tr> <tr> <td>Sobre tejado plano con estructura / On flat roof with stand</td> <td style="text-align: center;">X</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Dimensiones de la unidad del captador / Dimensions of collectors unit :</td> </tr> <tr> <td>Longitud / Length :</td> <td colspan="2">1900 mm</td> </tr> <tr> <td>Ancho / Width :</td> <td colspan="2">1213 mm</td> </tr> <tr> <td>Altura / Height :</td> <td colspan="2">106 mm</td> </tr> <tr> <td>Peso en vacío / Weight empty :</td> <td colspan="2">41,2 kg</td> </tr> <tr> <td>Contenido de fluido / Fluid content :</td> <td colspan="2">2,5 l</td> </tr> <tr> <td>N° de cubiertas / Number of covers :</td> <td colspan="2">1</td> </tr> <tr> <td>Materiales de cubierta / Cover materials (EC) :</td> <td colspan="2">Vidrio templado con bajo contenido en hierro / Tempered glass with low iron</td> </tr> <tr> <td>Espesor de cubierta / Cover thickness :</td> <td colspan="2">4 mm</td> </tr> <tr> <td>Transmitancia solar de la cubierta / Cover solar transmittance τ (EC) :</td> <td colspan="2">91,3 %</td> </tr> <tr> <td>Longitud de apertura / Aperture length :</td> <td colspan="2">1855 mm</td> </tr> <tr> <td>Anchura de apertura / Aperture width :</td> <td colspan="2">1166 mm</td> </tr> </table> | | | Tipo: Plano / de vacío / subatmosférico <i>Type: Flat plate / Evacuated / Subatmospheric</i> | Captador plano con cubierta / Glazed flat-plate collector | | Área total / Gross area : | 2,30 m ² | | Área de apertura / Aperture area : | 2,16 m ² | | Área de absorbedor / Absorber area : | 2,07 m ² | | Rango de flujo / Flow range (EC) : | 160 l/h | | Presión de operación / Operating pressure (EC) : | Máx: 9 bar | | Montaje del captador: <i>Collector mounting :</i> | En tejado con inclinación / On sloping roof | X | Integrado en tejado con inclinación / Sloping roof integrated | -- | Sobre tejado plano / On flat roof | -- | En tejado plano / In flat roof | -- | Sobre tejado plano con estructura / On flat roof with stand | X | Dimensiones de la unidad del captador / Dimensions of collectors unit : | | | Longitud / Length : | 1900 mm | | Ancho / Width : | 1213 mm | | Altura / Height : | 106 mm | | Peso en vacío / Weight empty : | 41,2 kg | | Contenido de fluido / Fluid content : | 2,5 l | | N° de cubiertas / Number of covers : | 1 | | Materiales de cubierta / Cover materials (EC) : | Vidrio templado con bajo contenido en hierro / Tempered glass with low iron | | Espesor de cubierta / Cover thickness : | 4 mm | | Transmitancia solar de la cubierta / Cover solar transmittance τ (EC) : | 91,3 % | | Longitud de apertura / Aperture length : | 1855 mm | | Anchura de apertura / Aperture width : | 1166 mm | |
| Tipo: Plano / de vacío / subatmosférico <i>Type: Flat plate / Evacuated / Subatmospheric</i> | Captador plano con cubierta / Glazed flat-plate collector | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Área total / Gross area : | 2,30 m ² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Área de apertura / Aperture area : | 2,16 m ² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Área de absorbedor / Absorber area : | 2,07 m ² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rango de flujo / Flow range (EC) : | 160 l/h | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Presión de operación / Operating pressure (EC) : | Máx: 9 bar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Montaje del captador: <i>Collector mounting :</i> | En tejado con inclinación / On sloping roof | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Integrado en tejado con inclinación / Sloping roof integrated | -- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sobre tejado plano / On flat roof | -- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | En tejado plano / In flat roof | -- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sobre tejado plano con estructura / On flat roof with stand | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dimensiones de la unidad del captador / Dimensions of collectors unit : | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Longitud / Length : | 1900 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ancho / Width : | 1213 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Altura / Height : | 106 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Peso en vacío / Weight empty : | 41,2 kg | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Contenido de fluido / Fluid content : | 2,5 l | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N° de cubiertas / Number of covers : | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Materiales de cubierta / Cover materials (EC) : | Vidrio templado con bajo contenido en hierro / Tempered glass with low iron | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Espesor de cubierta / Cover thickness : | 4 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Transmitancia solar de la cubierta / Cover solar transmittance τ (EC) : | 91,3 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Longitud de apertura / Aperture length : | 1855 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Anchura de apertura / Aperture width : | 1166 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Informe / Test report n°: 30.0866.0-2 Anexo 6 | Fecha de emisión / Date of issue : 26/08/2008 | Página / Page : 3/11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | |
|---|--|--|
|  | INFORME DE ENSAYO TEST REPORT | LABORATORIO DE CAPTADORES SOLARES SOLAR COLLECTORS LABORATORY |
|---|--|--|

2.2. Absorbedor / Absorber

| | |
|---|---|
| Material / Material (EC) : | Cobre / Copper |
| Longitud de absorbedor / Fin length : | 1794 mm |
| Ancho de absorbedor / Fin width : | 1155 mm |
| Espesor / Fin thickness : | 0,12 mm |
| Absortancia solar / Solar absorptance α (EC) : | 95% |
| Emitancia hemisférica / Hemispherical emittance ϵ (EC) : | 5% |
| Tratamiento de la superficie / Surface treatment (EC) : | Recubrimiento altamente selectivo / High Selective coating |
| Tipo de construcción / Construction type : | Parrilla con aletas / Tube-grid with fins |
| Número de tubos o canales / Number of tubes or channels (EC) : | Coletores / Collectors : 2 Verticales / Verticals : 10 |
| Diámetro de tubo o dimensiones / Riser diameter or dimensions : | Coletores / Collectors : Ø ext 22 mm Verticales / Verticals : Ø ext 12 mm |
| Distancia entre tubos / Distance between risers : | 115 mm |
| Dimensiones / Dimensions : | Área abs. proyectada / Abs. projected area = 1794 mm * 1155 mm = 2.07 m ² |

2.3. Aislamiento térmico y carcasa / Thermal insulation and casing

| | |
|--|---|
| Espesor del aislamiento térmico / Thermal insulation thickness : | Posterior/Back: 25 + 25 mm Lateral: 25 mm |
| Material del aislamiento / Insulation material (EC) : | Posterior/Back: Poliuretano + Fibra de vidrio / Polyurethane + Glass Wool Lateral: Poliuretano / Polyurethane |
| Material de la carcasa / Casing material (EC) : | Aluminio extruido / Extruded Aluminium |
| Material de sellado / Sealing material (EC) : | EPDM |

2.4. Limitaciones / Limitations :

| | |
|---|---------------------------------|
| Temperatura máxima de operación / Maximum operation (EC) | 200 °C |
| Máxima presión de operación / Maximum operation pressure (EC) : | 9 bar |
| Otras limitaciones / Other limitations : | No especificado / Not specified |

(EC) Datos especificados por el cliente / Specified by the customer

| | | |
|---|---|----------------------|
| Informe / Test report nº: 30.0866.0-2 Anexo 6 | Fecha de emisión / Date of issue : 26/08/2008 | Página / Page : 4/11 |
|---|---|----------------------|



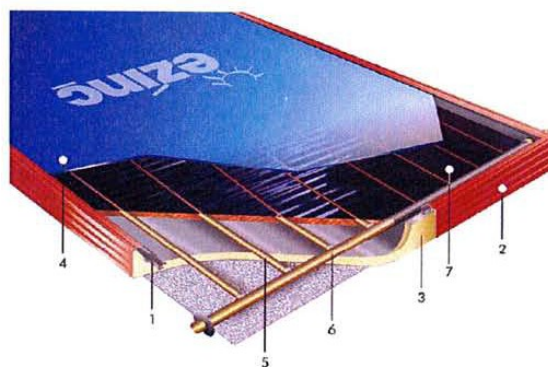
INFORME DE ENSAYO TEST REPORT

LABORATORIO DE
CAPTADORES SOLARES
SOLAR COLLECTORS
LABORATORY

Fotografía del captador / Photograph of the collector :



Diagrama esquemático del montaje del captador / Schematic diagram of collector mounting :



Collector Parts

- 1- 100% EPDM rubber sealing and gaskets, UV resisted
- 2- Pure aluminium frame extruded by Ezing and coated by electrostatic powder coating baked in 220°C oven
- 3- Insulation
- 4- Tempered solar glass, for high transmittance.
- 5- Copper riser tubes.
- 6- Copper manifold tubes.
- 7- Titanium selective coated absorbersheet, ultrasonically welded.

Informe / Test report nº: 30.0866.0-2 Anexo 6

Fecha de emisión / Date of issue : 26/08/2008

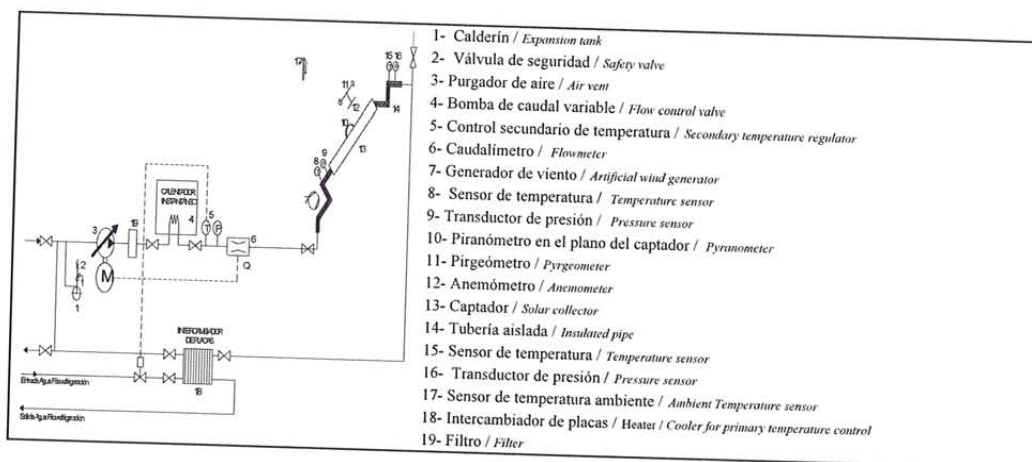
Página / Page : 5/11

Comentarios al diseño del captador / Comments on collector design :

Captador plano con cubierta de vidrio templado con bajo contenido en hierro. Absorbedor compuesto por láminas de cobre con recubrimiento altamente selectivo soldadas a una parrilla de tubos, también de cobre. Aislamiento trasero de espuma de poliuretano y fibra de vidrio y aislamiento lateral de espuma de poliuretano. Carcasa fabricada en aluminio extruido.

Glazed flat-plate collector with tempered glass cover with low iron content. Absorber made of copper plates with high selective coating welded to a tube-grid, made of copper. Back insulation in polyurethane and glass wool and lateral insulation in polyurethane. Casing made of extruded aluminium.

Diagrama esquemático del bucle de ensayos / Schematic diagram of test loop :



| | |
|--|---|
| Medio de transferencia de calor / Heat transfer medium (EC) : | Propilen Glicol + Agua / Polypropylene Glycol + Water |
| Especificaciones (aditivos, etc) / Specifications (additives etc) (EC) : | No especificado / Not specified |
| Fluidos de transferencia de calor alternativos aceptados: Alternative acceptable heat transfer fluids (EC) : | No especificado / Not specified |



INFORME DE ENSAYO TEST REPORT

LABORATORIO DE
CAPTADORES SOLARES
SOLAR COLLECTORS
LABORATORY

3. Resultados del ensayo / Test results

El rendimiento térmico ha sido ensayado sobre la base de los métodos :

Thermal performance has been tested based on test methods :

| | | |
|--|--|---|
| <input type="checkbox"/> 6.1. Exterior – Método de estado estacionario / Outdoor - Steady State Method | <input checked="" type="checkbox"/> 6.1. Interior – Método de estado estacionario / Indoor - Steady State Method | <input type="checkbox"/> 6.3. Exterior – Método cuasi-dinámico / Outdoor - Quasi-dynamic Method |
|--|--|---|

Irradiancia solar media / Mean solar irradiance : 876 W/m²

Tipo de lámparas / Type of the lamps : HMP

Sombreado de la radiación de alta longitud de onda / Shading of longwave radiation : Si / yes

Orientación de los tubos del absorbedor durante el ensayo (horizontal o vertical):
Orientation of absorber tubes during testing (horizontal or vertical): Vertical

Potencia pico ($G=1000 \text{ W/m}^2$) por unidad de captador / Peak Power per collector unit (W) : W_{pico} 1606

Potencia producida por unidad de captador / Power output per collector unit (W)

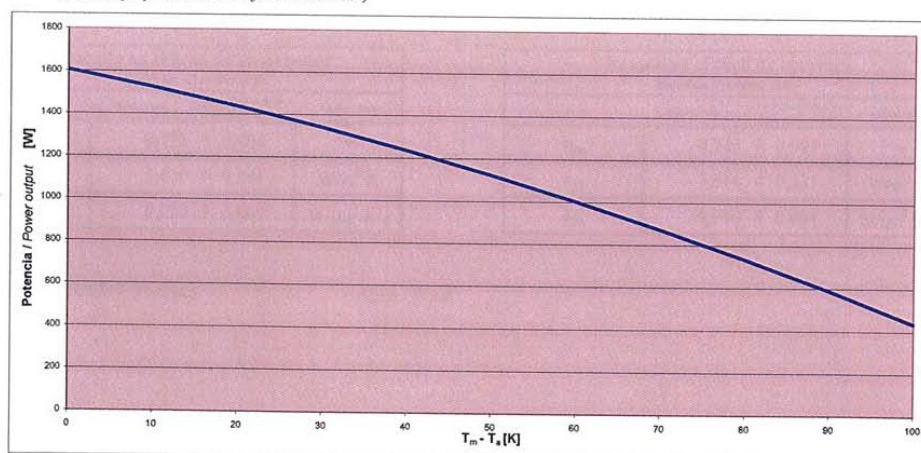
| G $T_m - T_a$ (K) | 400 W/m ² | 700 W/m ² | 1000 W/m ² |
|------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| 10 | 562 | 1044 | 1526 |
| 30 | 377 | 859 | 1341 |
| 50 | 160 | 641 | 1123 |

NOTA : Los valores expresados son para incidencia normal

NOTE : The reported values are for normal incidence

3.1. Potencia producida por unidad de captador (para $G=1000 \text{ W/m}^2$)


Power output per collector unit (for $G=1000 \text{ W/m}^2$)



Informe / Test report n°: 30.0866.0-2 Anexo 6

Fecha de emisión / Date of issue : 26/08/2008

Página / Page : 7/11

| | | |
|---|--|--|
|  | INFORME DE ENSAYO TEST REPORT | LABORATORIO DE CAPTADORES SOLARES SOLAR COLLECTORS LABORATORY |
|---|--|--|

3.2. Curva de eficiencia instantánea basada en el área de (absorbedor/apertura) y temperatura media del fluido de transferencia de calor (para $G=1000 \text{ W/m}^2$)
Instantaneous efficiency curve based on (absorber/aperture) area and mean temperature of heat transfer fluid (for $G=1000 \text{ W/m}^2$)

| Área de referencia: Área del absorbedor A_A <i>Reference area: Aperture area</i> | |
|---|---|
| Área de absorbedor usada para la curva (m^2) <i>Absorber area used for curve in (m^2)</i> | 2,07 |
| Eficiencia instantánea definida como : <i>Instantaneous efficiency is defined by :</i> | $\eta_A = \frac{\dot{Q}}{A_A \times G}$ |

| Área de referencia : Área de apertura A_a <i>Reference area : Aperture area</i> | |
|---|---|
| Área de apertura usada para la curva (m^2) <i>Aperture area used for curve in (m^2)</i> | 2,16 |
| Eficiencia instantánea definida como : <i>Instantaneous efficiency is defined by :</i> | $\eta_a = \frac{\dot{Q}}{A_a \times G}$ |

Caudal de fluido usado para los ensayos / *Fluid flowrate used for the tests* : 0,020 $\text{kg}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$

Área total de captador / *Gross collector area* 2,30 m^2

Ajuste de segundo orden para datos / *Second order fit to data* :

$$\eta_A = \eta_{0A} - a_{1A} \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right) - a_{2A} G \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right)^2$$

$$\eta_a = \eta_{0a} - a_{1a} \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right) - a_{2a} G \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right)^2$$

| Basado en el área de absorbedor <i>Based on Absorber area</i> | | |
|--|--|--|
| Valor / Value | Incertidumbre típica <i>Typical uncertainty</i> | Unidad / Unit |
| η_{0A} | $0,775 \pm 0,004$ | -- |
| a_{1A} | $3,670 \pm 0,241$ | $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ |
| a_{2A} | $0,020 \pm 0,004$ | $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}^2)$ |

| Basado en el área de apertura <i>Based on Aperture Area</i> | | |
|--|--|--|
| Valor / Value | Incertidumbre típica <i>Typical uncertainty</i> | Unidad / Unit |
| η_{0a} | $0,743 \pm 0,003$ | -- |
| a_{1a} | $3,516 \pm 0,231$ | $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ |
| a_{2a} | $0,019 \pm 0,004$ | $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}^2)$ |

Fluido utilizado / *Fluid used* Agua / *Water*

| | | |
|---|---|----------------------|
| Informe / Test report nº: 30.0866.0-2 Anexo 6 | Fecha de emisión / Date of issue : 26/08/2008 | Página / Page : 8/11 |
|---|---|----------------------|



INFORME DE ENSAYO TEST REPORT

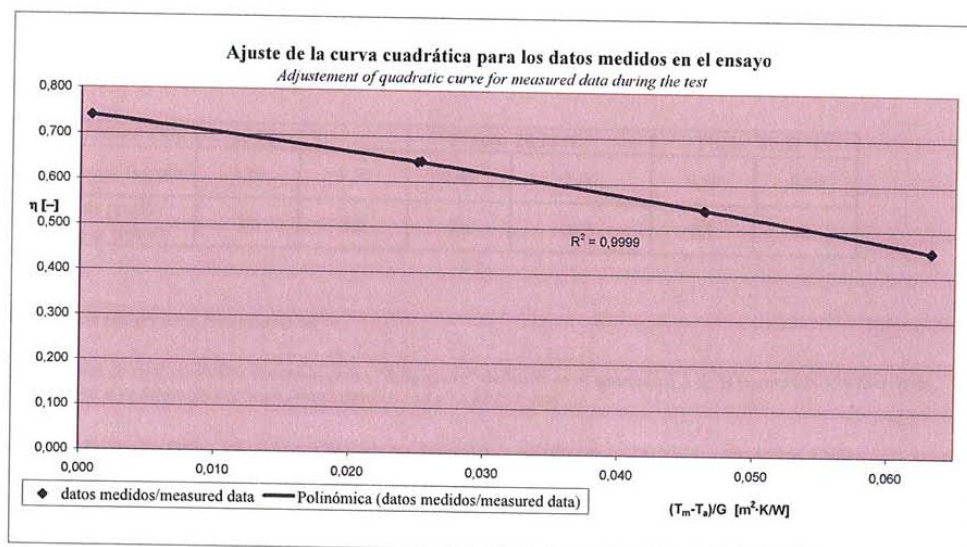
LABORATORIO DE
CAPTADORES SOLARES
SOLAR COLLECTORS
LABORATORY

Datos de eficiencia medida / Data of measured efficiency points

| PUNTO POINT | G (W/m ²) | CAUDAL MASICO MASS FLOW RATE (kg/min) | T ENTRADA T _{in} (°C) | T SALIDA T _{out} (°C) | T MEDIA T _m (°C) | T AIRE CIRCUND. T _{amb} (°C) | T _m - T _a / G (K·m ² /W) | η |
|----------------|-----------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|---|--|-------|
| 1 | 878 | 2,61 | 21,95 | 29,67 | 25,8 | 25,2 | 0,0007 | 0,739 |
| 2 | 877 | 2,61 | 21,97 | 29,69 | 25,8 | 25,2 | 0,0008 | 0,740 |
| 3 | 870 | 2,59 | 44,44 | 51,17 | 47,8 | 25,8 | 0,0253 | 0,645 |
| 4 | 872 | 2,59 | 44,43 | 51,16 | 47,8 | 26,0 | 0,0250 | 0,644 |
| 5 | 879 | 2,57 | 63,95 | 69,71 | 66,8 | 26,0 | 0,0464 | 0,542 |
| 6 | 880 | 2,57 | 63,95 | 69,73 | 66,8 | 26,1 | 0,0463 | 0,544 |
| 7 | 878 | 2,54 | 79,57 | 84,40 | 82,0 | 26,5 | 0,0632 | 0,453 |
| 8 | 876 | 2,54 | 79,57 | 84,42 | 82,0 | 26,6 | 0,0633 | 0,455 |

Ajuste de la curva de eficiencia instantánea basada en el área de apertura y la temperatura media del fluido de transferencia de calor

Adjustment of instantaneous efficiency curve based on aperture area and mean temperature of heat transfer fluid




3.4 Constante de tiempo / Time constant

$$\tau_c = 0:01:22 \quad \text{h:min:ss}$$

Informe / Test report nº: 30.0866.0-2 Anexo 6

Fecha de emisión / Date of issue : 26/08/2008

Página / Page : 9/11

| | | |
|---|--|--|
|  | INFORME DE ENSAYO TEST REPORT | LABORATORIO DE CAPTADORES SOLARES SOLAR COLLECTORS LABORATORY |
|---|--|--|

3.5 Capacidad Térmica efectiva / Effective thermal capacity

C = 16545 J/K

Determinación por / Determination by:

☒ Cálculo / calculation

La capacidad térmica fue calculada según el punto 6.1.6.2 de la norma EN 12975-2
Effective thermal capacity was calculated according to 6.1.6.2 of EN 12975-2

$$C = \sum p_i \cdot m_i \cdot c_i$$

☐ Exterior / outdoors

☐ Interior / indoors

3.6 Modificador del ángulo de incidencia / Incident angle modifier

Ángulo / angle : 50 °

$K_{\theta}(50^{\circ}) = 0,92$

3.7 Caída de presión / Pressure drop

| Tº Fluido / Fluid Tº (°C) | 20 °C ± 2 °C | | Tº max: 20,38 °C | | Tº min: 19,32 °C | |
|---|--------------|------|------------------|------|------------------|------|
| Caudal / Flowrate (kg/min) | 4,10 | 3,30 | 2,40 | 1,60 | 0,70 | 0,00 |
| Pérdida de presión / Pressure drop (mbar) | 1,8 | 1,2 | 0,6 | 0,3 | 0,1 | 0 |

3.8 Fallos observados / Observed failures


Dense detalles de cualquier fallo denotado como “fallo grave” definido en el apartado 5.3 de la norma EN 12975-1:2006.
Give details of any of the failures denoting "major failure", defined in 5.3.1 of EN 12975-1 :2006

No se han observado fallos. El captador cumple los requisitos especificados en la norma EN 12975-2:2006 para los ensayos de rendimiento incluidos en el presente informe.
No failures has been observed. The collector respect the requirements specified in the norm EN 12975-2:2006 for the thermal performance testing included in this report.

Observaciones / Observations :

| Ensayos realizados / Tests done | Cumplimiento norma EN 12975 / EN 12975 requirements |
|---|---|
| Cte. de tiempo / Time constant | SI / yes |
| Curva de eficiencia / Efficiency curve | SI / yes |
| Modificador de ángulo / Incident angle modifier | SI / yes |
| Capacidad térmica / Thermal capacity | SI / yes |
| Caída de presión / Pressure drop | SI / yes |

| | | |
|---|---|-----------------------|
| Informe / Test report nº: 30.0866.0-2 Anexo 6 | Fecha de emisión / Date of issue : 26/08/2008 | Página / Page : 10/11 |
|---|---|-----------------------|

| | | |
|---|--|--|
|  | INFORME DE ENSAYO TEST REPORT | LABORATORIO DE CAPTADORES SOLARES SOLAR COLLECTORS LABORATORY |
|---|--|--|

ANEXO / ANNEX : Resumen del informe de ensayo / Summary test report

Identificación / Identification

| | | | |
|--|---|--|------|
| Nombre del Fabricante: <i>Name of manufacturer:</i> | EZİNÇ METAL SAN. TİC. A.Ş | Año de producción: <i>Year of production:</i> | 2008 |
| Nombre comercial: <i>Brand Name:</i> | ESCOSOL SOL 2300 SELECTIVO TITAN | Número de serie: <i>Serial No.:</i> | 8604 |
| Tipo de captador: <i>Collector Type:</i> | Captador plano con cubierta / <i>Glazed flat-plate collector</i> | Dibujos documento: <i>Drawing document:</i> | -- |

Dimensiones de la unidad captador / Dimensions of collector unit

| | | | |
|---------------------------|---------|--|---------------------|
| Longitud / <i>Length:</i> | 1900 mm | Área del absorbedor / <i>Absorber area :</i> | 2,07 m ² |
| Ancho / <i>Width:</i> | 1213 mm | Área de apertura / <i>Aperture area</i> | 2,16 m ² |
| Altura / <i>Height :</i> | 106 mm | Área total / <i>Gross area :</i> | 2,30 m ² |

Especificaciones generales / General specifications

| | |
|--|--|
| Peso / <i>Weigh :</i> | 41,2 kg |
| Fluido de transferencia de calor / <i>Heat transfer fluid (EC) :</i> | Propilen Glicol + Agua / Polypropylene Glycol + Water |
| Rango de flujo / <i>Flow range (EC):</i> | 160 l/h |
| Presión de operación / <i>Operating pressure (EC) :</i> | Máx: 9 bar |

(EC) Datos especificados por el cliente / *Specified by the customer*

| | Valor / <i>Value</i> | Incertidumbre / <i>Uncertainty</i> | Unidad / <i>Unit</i> |
|-------------|----------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| η_{0A} | 0,775 | ± 0,004 | -- |
| a_{1A} | 3,670 | ± 0,241 | W/m ² ·K |
| a_{2A} | 0,020 | ± 0,004 | W/(m ² ·K ²) |

| | Valor / <i>Value</i> | Incertidumbre / <i>Uncertainty</i> | Unidad / <i>Unit</i> |
|-------------|----------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| η_{0a} | 0,743 | ± 0,003 | -- |
| a_{1a} | 3,516 | ± 0,231 | W/m ² ·K |
| a_{2a} | 0,019 | ± 0,004 | W/(m ² ·K ²) |

Potencia extraída por unidad de captador / Power Output per collector unit (W)

| $T_m - T_a$ (K) | 400 W/m ² | 700 W/m ² | 1000 W/m ² |
|-----------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| 10 | 562 | 1044 | 1526 |
| 30 | 377 | 859 | 1341 |
| 50 | 160 | 641 | 1123 |

Modificador del ángulo de incidencia / Incidence Angle Modifier

K₅₀: 0,92

| | | |
|---|---|-----------------------|
| Informe / Test report n°: 30.0866.0-2 Anexo 6 | Fecha de emisión / Date of issue : 26/08/2008 | Página / Page : 11/11 |
|---|---|-----------------------|

DIMENSIONADO DE LAS TUBERÍAS DEL CIRCUITO PRIMARIO.

Para realizar el **dimensionado** de las tuberías del circuito primario actuaremos del mismo modo que con cualquier circuito hidráulico, siguiendo las leyes de la dinámica de fluidos en tubos con sección constante.

Para el diseño de los tramos hay que conseguir evitar las pérdidas térmicas para ello lo mejor es que la longitud de los tramos sea corta y evitar al máximo los codos.

En los tramos horizontales consideramos una pendiente mínima del 1 % tal y como se expresa en el apartado 3.3.5.2 de la Sección HE4.

Para calcular la tubería, debemos tener en cuenta tres variables de cálculo, como son: **el caudal del tramo, la pérdida de carga por rozamiento y la altura piezométrica** o presión en el conducto. En los circuitos de ACS podemos considerar la presión igual a cero, por lo que la bomba de circulación debe proporcionar la presión que necesitemos para el movimiento del fluido por el circuito.

A continuación podemos observar la ecuación de continuidad que establece la relación entre **el caudal Q , la velocidad v y la sección S** :

$$Q = v \cdot S = v \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

siendo: **Q** : caudal (m^3/s).

v : velocidad del fluido (m/s).

D : diámetro interior de la tubería (m).

La velocidad la fijaremos de acuerdo a lo establecido en la Sección HE4 del CTE, en el que se recomienda:

- En derivaciones interiores, no superar 1 m/s
- En acometidas y distribuidores, hasta 1,5 m/s
- En exterior y cámaras de instalaciones, hasta 2,5 m/s

También en el apartado 4.2.1 del HS4 limita la velocidad en las instalaciones de suministro en el interior de edificios para tuberías metálicas entre 0,50 m/s y 2,00 m/s. Por lo que los diámetros de las tuberías serán calculados teniendo en cuenta que las pérdidas de carga por metro lineal de tubería no debe superar los 40 (mmca) y que la velocidad del fluido sea inferior a: 2 (m/s) para tuberías interiores y a 3 (m/s) para tuberías exteriores.

Por tanto, teniendo en cuenta estos valores de velocidad y sabiendo el caudal recomendado facilitado por el fabricante de los captadores solares, obtenemos la sección mínima de la tubería necesaria para nuestra instalación sin más que reordenar y resolver la ecuación anterior.

La ecuación queda:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{v \cdot \pi}}$$

Para calcular el Caudal del circuito primario, tendremos en cuenta el caudal recomendado por el fabricante de los Captadores Solares, y calcularemos el caudal que circula por toda la batería de captación. Este caudal será igual al caudal que circule por nuestro circuito primario. Para el cálculo del Caudal que circula por la batería aplicaremos la siguiente ecuación:

$$Q = Q_{\text{captador}} \cdot A \cdot N$$

siendo:

- **Q:** el caudal del circuito primario (l/h).
- **Q_{captador}:** el caudal unitario del captador (l/h·m²).
- **A:** el área del colector (m²).
- **N:** número de captadores.

con todo esto sustituyendo obtenemos:

$$Q = 70 \cdot \left(\frac{l}{h \cdot m^2} \right) \cdot 2,16 \cdot (m^2) \cdot 4 = 604,8 \cdot \left(\frac{l}{h} \right)$$

que en $\left(\frac{m^3}{s} \right)$ será:

$$Q = 604,8 \cdot \left(\frac{l}{h} \right) \cdot \frac{1}{1000} \cdot \left(\frac{m^3}{l} \right) \cdot \frac{1}{3600} \cdot \left(\frac{h}{s} \right) = 1,68 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

Consideramos una velocidad de 0,55 (m/s) y el caudal calculado anteriormente para calcular el diámetro de tubería, de forma que obtenemos un diámetro de:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{v \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,68 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{m^3}{s} \right)}{0,55 \cdot \left(\frac{m}{s} \right) \cdot \pi}} = 0,0197 \cdot (m) = 20 \cdot (mm)$$

Para saber que medidas diámetros interior y exterior de la tubería tendremos en cuenta la siguiente tabla extraída de la norma UNE-EN 1057:1996 en la que se definen los diámetros y espesores nominales recomendados para los tubos de cobre:

| TUBERIAS NORMALIZADAS DE COBRE SEGUN UNE-EN 1.057 | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
| D. EXT. (mm) | ESPESOR DE PARED NOMINAL (mm) | | | | | | | | | | | |
| | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 |
| 6 | 5 | 4,8 | | 4,4 | | 4 | | | | | | |
| 8 | 7 | 6,8 | | 6,4 | | 6 | | | | | | |
| 10 | 9 | 8,8 | 8,6 | 8,4 | | 8 | | | | | | |
| 12 | 11 | 10,8 | 10,6 | 10,4 | | 10 | | | | | | |
| 14 | | | 12,6 | 12,4 | | 12 | | | | | | |
| 15 | 14 | | 13,6 | 13,4 | | 13 | | 12,6 | 12 | | | |
| 16 | | | | 14,4 | | 14 | | 13,6 | | | | |
| 18 | | 16,8 | | 16,4 | | 16 | | 15,6 | 15 | | | |
| 22 | | 20,8 | | 20,4 | 20,2 | 20 | 19,8 | 19,6 | 19 | | | |
| 25 | | | | | | 23 | | 22,6 | 22 | | | |
| 28 | | 26,8 | | 26,4 | 26,2 | 26 | | 25,6 | 25 | | | |
| 35 | | | 33,6 | 33,4 | | 33 | 32,8 | 32,6 | 32 | 31 | | |
| 40 | | | | | | 38 | 37,8 | | | | | |
| 42 | | | | 40,4 | | 40 | | 39,6 | 39 | 38 | | |
| 54 | | | | 52,4 | 52,2 | 52 | | 51,6 | 51 | 50 | | |
| 64 | | | | | | | | | 61 | 60 | 59 | |
| 66,7 | | | | | | 64,7 | | 64,3 | 63,7 | 62,7 | 61,7 | |
| 70 | | | | | | | | | | 66 | 65 | |
| 76,1 | | | | | | | | 73,7 | 73,1 | 72,1 | 71,1 | |
| 80 | | | | | | 78 | | | | 76 | | |
| 88,9 | | | | | | | | | | 84,9 | 83,9 | 82,9 |
| 108 | | | | | | | | 105,6 | 105 | 104 | 103 | 102 |
| 133 | | | | | | | | | 130 | 129 | | 127 |
| 159 | | | | | | | | | 156 | 155 | | 153 |
| 219 | | | | | | | | | | | | 213 |
| 267 | | | | | | | | | | | | 261 |

EN NEGRILLA: DIMENSIONES EUROPEAS RECOMENDADAS.
NORMAL: OTRAS DIMENSIONES EUROPEAS.

Tabla ANEXO 4.1. Tuberías Normalizadas de Cobre según UNE-EN 1.057

Por tanto el diámetro interior aceptable sería de 20 mm, el diámetro exterior 22 mm y espesor 1 mm. Y la velocidad del fluido de la instalación valdrá:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 1,68 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{m^3}{s}\right)}{\pi \cdot 0,02^2 \cdot (m^2)} = 0,535 \cdot \left(\frac{m}{s}\right)$$

En la siguiente tabla se muestran los diámetros normalizados y sus correspondencias en pulgadas:

| Comparación de tuberías Diámetros Interiores en mm | | | | | | |
|--|------------------|-------------------|--------------------|-------------------|------------------------|-------------------|
| DENOMINACION PULGADAS | ACERO UNE 19.040 | | COBRE UNE-EN 1.057 | | POLIETILENO UNE 53.333 | |
| | Denominacion | Diámetro Interior | Denominacion | Diámetro Interior | Denominacion | Diámetro Interior |
| 1/8 | DN 6 | 6,2 | 8 x 1 mm | 6,0 | | |
| 1/4 | DN 8 | 8,9 | 10 x 1 mm | 8,0 | | |
| | | | 12 x 1 mm | 10,0 | | |
| 3/8 | DN 10 | 12,6 | 15 x 1 mm | 13,0 | | |
| 1/2 | DN 15 | 16,1 | 18 x 1 mm | 16,0 | PE 20 | 16,0 |
| 3/4 | DN 20 | 21,7 | 22 x 1 mm | 20,0 | PE 25 | 20,4 |
| 1 | DN 25 | 27,3 | 28 x 1 mm | 26,0 | PE 32 | 26,0 |
| 1-1/4 | DN 32 | 36,0 | 35 x 1 mm | 33,0 | PE 40 | 32,6 |
| 1-1/2 | DN 40 | 41,9 | 42 x 1 mm | 40,0 | PE 50 | 40,8 |
| 2 | DN 50 | 53,1 | 54 x 1,5 mm | 51,0 | PE 63 | 51,4 |
| | | | 64 x 2 mm | 60,0 | PE 75 | 61,4 |
| 2-1/2 | DN 65 | 68,9 | | | PE 90 | 73,6 |
| 3 | DN 80 | 80,9 | | | PE 110 | 90,0 |
| 4 | DN 100 | 105,3 | | | PE 125 | 102,2 |
| | | | | | PE 140 | 114,6 |
| 5 | DN 125 | 129,7 | | | PE 160 | 130,8 |
| 6 | DN 150 | 155,1 | | | PE 180 | 147,2 |
| | | | | | PE 200 | 163,6 |

Tabla ANEXO 4.2. Comparación de tuberías. Diámetros interiores en mm.

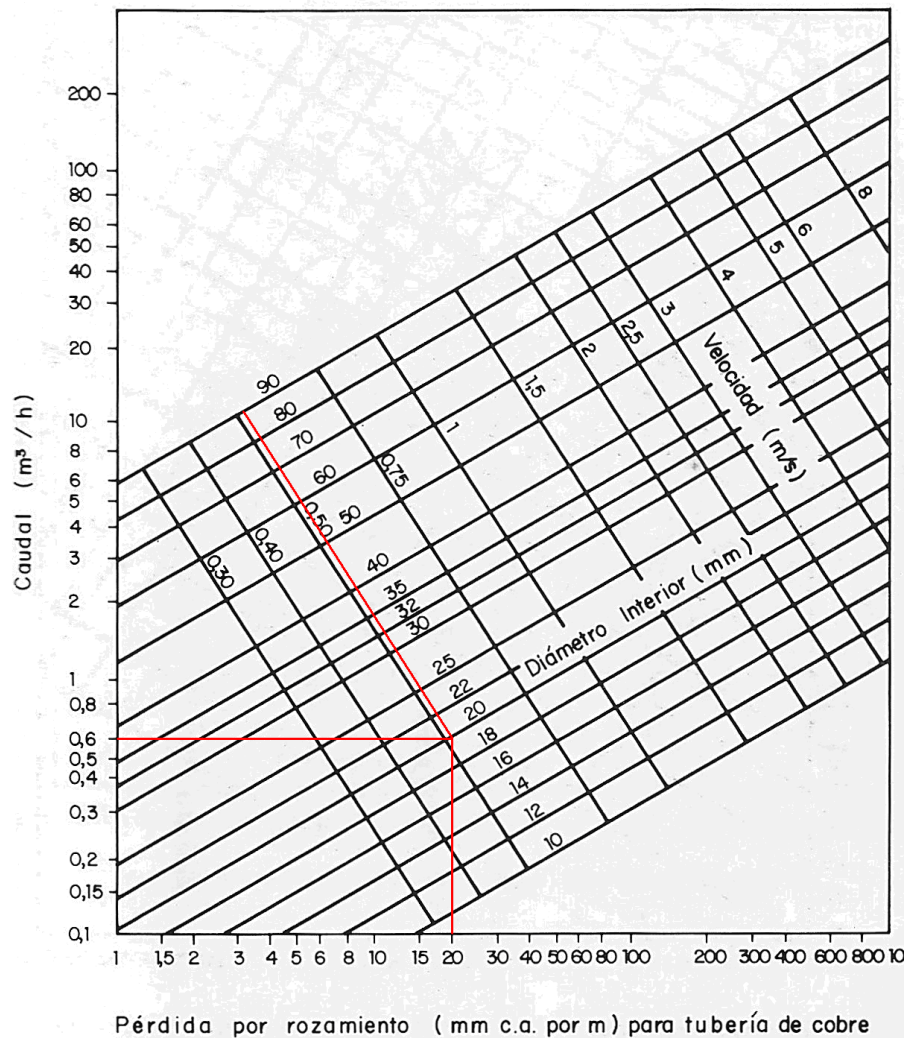
Ahora vamos a comprobar que cumplimos que las pérdidas por metro lineal de carga de las tuberías no son superiores a 40 (mm.c.a.).

Para ello vamos utilizamos el Diagrama de pérdidas por rozamiento en tubería de cobre, que se puede ver a continuación, entrando con el caudal de la instalación en (m³/h) y con el diámetro interior de la tubería seleccionada, que es de 20 (mm).

El caudal será:

$$Q = 604,8 \cdot \left(\frac{l}{h} \right) \cdot \frac{1}{1000} \cdot \left(\frac{m^3}{l} \right) = 0,6048 \cdot \left(\frac{m^3}{h} \right)$$

Por tanto obtenemos un Diagrama de pérdidas por rozamiento para la tubería de cobre de nuestra instalación, como la que se muestra a continuación.



**Diagrama de pérdidas por rozamiento
para tuberías de cobre.**

Por tanto, las pérdidas por metro lineal de carga de las tuberías son de 20 (mm.c.a.), por lo que no son superiores a 40 (mm.c.a.) Quedando demostrado que cumplimos con lo exigido en el apartado 4.2.1 del HS4.

DIMENSIONADO DEL AISLAMIENTO DE LAS TUBERÍAS DEL CIRCUITO PRIMARIO

Para materiales de aislamiento con una conductividad λ diferente de 0,040 (W/m·K) a 20 °C, el RITE indica la siguiente expresión para el cálculo del **espesor mínimo e**:

$$e = \frac{D_i}{2} \cdot \left[\exp \left(\frac{\lambda}{0,04} \cdot \ln \frac{D_i + 2 \cdot e_{ref}}{D_i} \right) - 1 \right]$$

siendo: **e**: espesor mínimo del aislamiento en mm.

e_{ref}: espesor mínimo del aislamiento, en mm (según la tabla anterior).

D_i: diámetro interior del aislamiento, en mm.

λ: conductividad térmica del material de aislamiento, en (W/m·K).

Para nuestra instalación utilizaremos un aislamiento de 0,039 (W/m·K) a 10 °C mm, que es el **Aislamiento tubular flexible K-FLEX SOLAR forrado PVC de Salvador Escoda**. Este tipo de aislamiento está especialmente diseñado para aislamiento de circuitos de instalaciones térmicas solares que discurren por el exterior del edificio. El forro de PVC pegado por extrusión al elastómero, le confiere una excelente resistencia a los agentes atmosféricos.

Este tipo de aislamiento tiene las siguientes características:

| | |
|--------------------------------------|---|
| Cof. Conductividad térmica λ | 0,039 W/(m.k) a 10°C |
| Factor de permeabilidad μ | 7000 |
| Resistencia al fuego | B2 DIN 4102 |
| Clasificación al humo (toxicidad) | IMO RES 41 (64) |
| Color funda | Blanco. También es posible suministro en negro. |
| Composición | no alógeno, sin PVC, sin CFC, HCFC, sin amianto. |
| Espesores | 14, 20, 30 y 40 mm |
| Diámetros | 12 hasta 42 mm |
| Suministro habitual | tubos de 2 metros o en rollos de diferentes longitudes según medida. |

Tabla ANEXO 4.3. Características del Aislamiento tubular flexible K-FLEX SOLAR forrado PVC.

De forma que, sustituyendo los valores conocidos, para las tuberías interiores obtenemos el espesor mínimo:

$$e = \frac{20}{2} \cdot \left[\exp \left(\frac{0,039}{0,04} \cdot \ln \frac{20 + 2 \cdot 20}{20} \right) - 1 \right] = 19,187 \cdot (mm)$$

Y para las tuberías exteriores obtenemos:

$$e = \frac{20}{2} \cdot \left[\exp \left(\frac{0,039}{0,04} \cdot \ln \frac{20 + 2 \cdot 30}{20} \right) - 1 \right] = 28,637 \cdot (mm)$$

Nuestra instalación será aislada con **Aislamiento tubular flexible K-FLEX SOLAR forrado PVC** de Salvador Escoda, como ya hemos dicho anteriormente. En la parte interior de la instalación utilizaremos un aislamiento de 20 mm de espesor y para la parte exterior de la instalación utilizaremos un aislamiento de 30 mm de espesor, que son valores superiores a los mínimos calculados.



CÁLCULO DEL VASO DE EXPANSIÓN (UNE 100.155).

Para realizar **dimensionado** del vaso de expansión seguimos las indicaciones de la instrucción UNE100.155. Por tanto, los datos que sirven de base para la selección del vaso son los siguientes:

- Volumen total de agua (litros) en la instalación
- Temperatura mínima de funcionamiento, para la cual se asumirá el valor de 4°C, a la que corresponde la máxima densidad.
- Temperatura máxima que puede alcanzar el agua durante el funcionamiento de la instalación.
- Presiones mínima y máxima de servicio, en bar (1,5 y 4bar)
- Volumen de expansión calculado en litros.

El coeficiente de expansión del agua para las temperaturas desde 30°C hasta 90°C (ambas incluidas) teniendo en cuenta el aumento de volumen de agua acompañada de un aumento del volumen disponible, debido a la dilatación simultánea de los componentes del circuito, puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

$$C_e = (3,24 \cdot T^2 + 102,13 \cdot T - 2708,3) \cdot 10^{-6}$$

Cuando el fluido portador de calor sea una solución de propilenglicol en agua, el coeficiente de expansión C_e deberá multiplicarse por el siguiente factor de corrección:

$$f_c = a \cdot (1,8 \cdot T + 32)^b$$

donde,

$$a = -0,0134 \cdot (G^2 - 143,8 \cdot G + 1918,2)$$

$$b = 3,5 \times 10^{-4} \cdot (G^2 - 94,57 \cdot G + 500)$$

G es el porcentaje de etilenglicol en agua;

Válido para un contenido de propilenglicol entre el 20% y el 50% en volumen.

El coeficiente de expansión es siempre positivo y menor que la unidad y representa la relación entre el volumen útil del vaso de expansión, que debe ser igual al volumen del fluido expansionado, y el volumen del fluido contenido en la instalación.

A continuación calculamos el coeficiente de presión válido para los vasos de expansión cerrados sin trasiego de fluido al exterior del sistema. Este valor se halla partiendo de la ecuación de estado para gases perfectos, considerando que la variación de volumen tenga lugar a temperatura constante. Este coeficiente, positivo y mayor que la unidad, representa la relación entre el volumen total y el volumen útil del vaso de expansión.

$$C_p = \frac{P_{máx}}{P_{máx} - P_{mín}}$$

donde: $P_{máx}$ es la presión máxima en el vaso en bar.

$P_{mín}$ es la presión mínima en el vaso en bar.

Para un vaso de expansión cerrado, con fluido en contacto indirecto (con diafragma) con un gas presurizado, el volumen total del vaso se calculará mediante la siguiente expresión:

$$V_t = V_{ins} \cdot C_e \cdot C_p$$

PÉRDIDAS DE CARGA EN LAS TUBERÍAS DE LOS COLECTORES.

Para calcular las pérdidas de carga de una tubería, vamos a utilizar la Fórmula de Darcy-Weisbach, que es la fórmula básica para el cálculo de las pérdidas de carga en las tuberías y conductos. La ecuación es la siguiente:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

La ecuación de Darcy es valida tanto para flujo laminar como para flujo turbulento de cualquier líquido en una tubería.

Lo primero que debemos conocer es el **Re** del fluido que circula por el interior de la tubería, para saber si es Flujo Laminar o Turbulento. El Reynolds se calcula según la siguiente expresión:

$$Re = \frac{\rho_{fluido} \cdot v_{fluido} \cdot D_{int}}{\mu_{fluido}} = 49,417 < 2300$$

por tanto estamos en Régimen Laminar.

La fórmula de Darcy puede ser deducida por el análisis dimensional con la excepción del Factor de Fricción (f), que debe ser determinado experimentalmente.

El factor de fricción para condiciones de flujo laminar ($Re < 2300$) es función únicamente del número de Reynolds, mientras que para flujo turbulento ($Re > 4000$) es también función del tipo de pared de tubería.

La región que se conoce como la zona critica, es la que aparece entre los números de Reynolds de 2300 a 4000. En esta región el flujo puede ser tanto laminar como turbulento. El factor de Fricción en esta región es indeterminado.

Para los números de Reynolds superiores a 4000, las condiciones de flujo vuelven a ser más estables y pueden establecerse factores de rozamiento definitivos. Esto, permite determinar las características del flujo de cualquier fluido que se mueva por una tubería, suponiendo conocidas la viscosidad, la densidad en las condiciones de flujo.

Cuando el flujo es turbulento el factor de fricción no solo depende del número de Reynolds, sino también de la rugosidad relativa de las paredes de la tubería, ε/D , es decir, la rugosidad de las paredes de la tubería (ε) comparadas con el diámetro de la tubería (D).

El coeficiente de fricción f puede deducirse matemáticamente en el caso de régimen laminar, según la siguiente ecuación:

$$f_{\text{laminar}} = \frac{64}{\text{Re}}$$

Por tanto, nuestro coeficiente de fricción valdrá:

$$f_{\text{laminar}} = \frac{64}{49,417} = 0,1295$$

Y aplicando la Fórmula de Darcy-Weisbach, nos queda una pérdida de carga por tubo de:

$$h_f = 0,1295 \cdot \frac{1,9 \cdot (m)}{0,02 \cdot (m)} \cdot \frac{0,053^2 \cdot \left(\frac{m^2}{s^2}\right)}{2 \cdot 9,81 \cdot \left(\frac{m}{s^2}\right)} = 0,00176 \cdot (m.c.a.) = 1,76 \cdot (mm.c.a.)$$

Por tanto las pérdidas totales de carga de los captadores en paralelo son:

$$h_{\text{TOTAL}} = 1,76 \cdot (mm.c.a.)$$

En el caso de flujo turbulento no se dispone de relaciones matemáticas sencillas para obtener la variación de f con el número de Reynolds. La información mas útil y universalmente aceptada sobre factores de fricción que se utiliza en la formula de Darcy, la presentó Moody. A partir de ella, desarrolló un diagrama en el que se muestra una familia de curvas de iso-rugosidad relativa, con las que se determina el coeficiente de fricción a partir de la intersección de la vertical del número de Reynolds, con la isocurva correspondiente.

A continuación se puede observar el Diagrama de Moody.

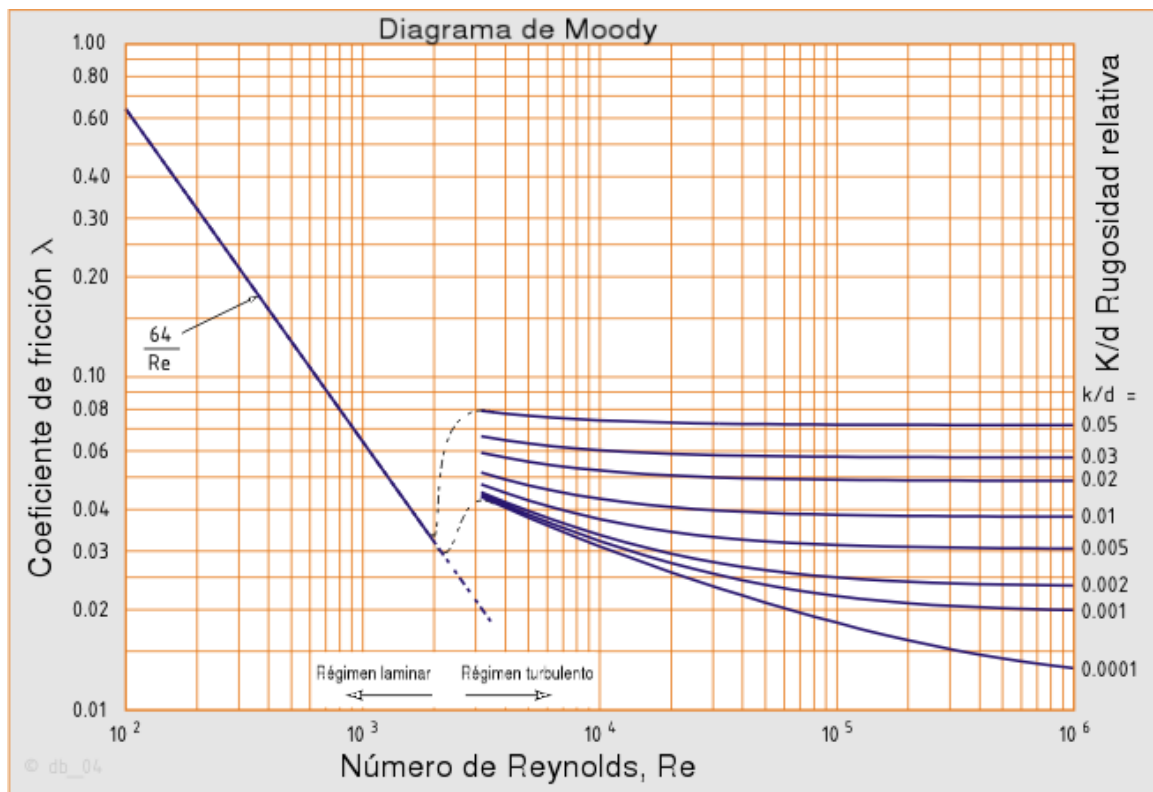


Diagrama de Moody.

FICHA TÉCNICA DEL INTERCAMBIADOR



Provença, 992 pl. 1 y 2
08025 BARCELONA
Tel. 93 446 27 80
Fax 93 456 90 32

CATÁLOGO TÉCNICO

MANUALES, CATÁLOGOS Y HOJAS TÉCNICAS: EN NUESTRA WEB

Intercambiador de placas M3

Diseño estándar:

El intercambiador de calor de placas consta de un paquete de placas metálicas de relieve corrugado con orificios para la circulación de los dos fluidos entre los que se va a producir transferencia térmica.

El paquete de placas se sitúa entre una placa de bastidor y una placa de presión que, mediante unos pernos de apriete, comprimen el citado paquete. Cada placa lleva una junta periférica que sella los canales y dirige el fluido alternativamente entre placas.

El número de placas se determina en función de los caudales, propiedades físicas de los fluidos, pérdidas de carga admisibles y programa de temperaturas. El corrugado de las placas facilita la formación de turbulencias y soporta la presión diferencial que se produce.

La placa de presión y el resto de placas se encuentran suspendidas de una barra soporte, situada superiormente, y centrados por una barra guía inferior. Ambas barras se fijan a una columna soporte.

Las conexiones se sitúan en la placa de bastidor, o si alguno de los fluidos realiza más de un paso dentro de la unidad, se sitúan en las placas de bastidor y de presión.

Las placas pueden suministrarse en cualquier material prensable y las juntas en diferentes calidades de elastómeros.

Caudal:

Depende del tipo de fluidos, pérdidas de carga admisibles y programa de temperaturas.

Hasta 14 m³/h.

Tipos de bastidor:

FM, FGL y FG.

Tipos de placas:

M3 y M3-X, donde M3 proporciona flujo paralelo y M3-X flujo diagonal (ver figuras).

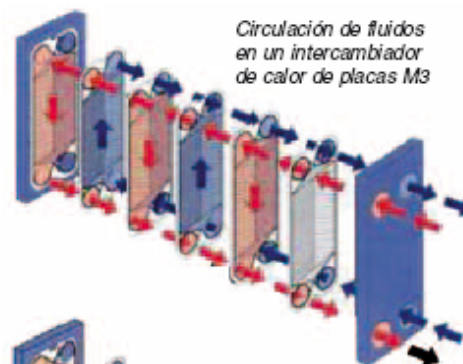
Principio de funcionamiento:

Los fluidos se introducen por los orificios de conexión y circulan por los canales que se forman entre placas, convenientemente separadas por las juntas. Un fluido es conducido a un segundo paso, mientras el otro circula por el canal que forman estos dos primeros. Los dos fluidos se encuentran así separados, sin poderse mezclar, por una delgada placa a través de la cual se produce la transferencia de calor.

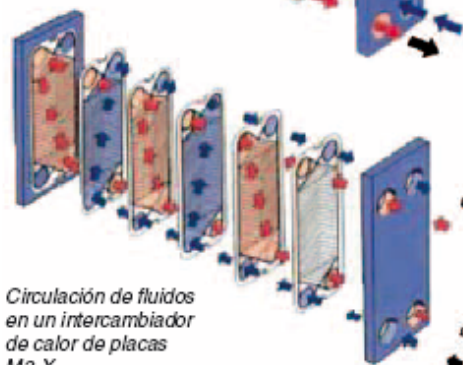
Las corrugaciones forman los correspondientes canales entre placas, cuyos bordes de apoyo presionan unas sobre las otras. Los fluidos circulan con altas turbulencias produciendo un gran rendimiento en la transferencia de calor.



M3-FM



*Circulación de fluidos
en un intercambiador
de calor de placas M3*



*Circulación de fluidos
en un intercambiador
de calor de placas
M3-X*

Materiales estándar:

Bastidor

Acero al carbono pintado con pintura epoxi.

Placas

Acero inoxidable AISI 316, Titanio.

Juntas

M3: NBR Clip-on, EPDM Clip-on

M3X: NBR y EPDM, Clip-on y pegadas, Viton pegadas.

Conexiones

Rosca externa ISO R 1-1/4".

Rosca externa ISO G 1-1/4".

Datos técnicos:

Temp. máxima de trabajo

Juntas de goma, hasta 140°C (284°F)

Presión máxima de trabajo

FM -1.0 Mpa (144 psig)

FG, FGL -1.6 Mpa (230 psig)

Coeficiente de transferencia de calor

3500 -5500 W/m² °C (600-1000 BTU/ft²h °F)

Máxima superficie de intercambio térmico

FM, FG: 3.9 m2 (41.8 sq ft)

FGL: 2.7 m² (28.9 sq ft)

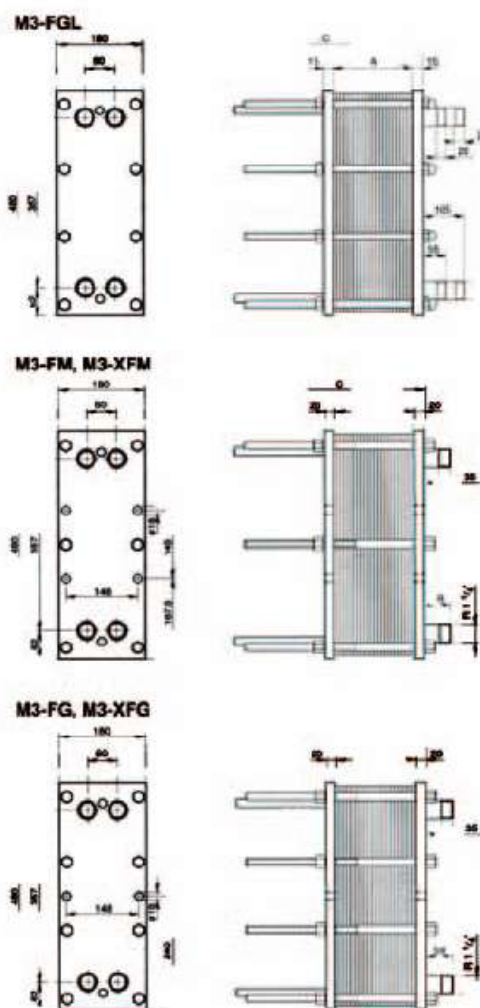
Superficie de transferencia por placa

0.032 m² (0.34 sq ft)

Datos particulares requeridos para ofertar:

Para que un representante de Alfa Laval pueda efectuar una oferta correcta, sus consultas deben incluir los siguientes datos:

- Caudales requeridos.
- Programa de temperaturas.
- Propiedades físicas de los fluidos en cuestión (si no se trata de agua).
- Presión de trabajo.
- Pérdida de carga máxima admisible en el intercambiador.


$$A = (2.4 + 0.6 \text{ Titanio}) \times n \text{ mm. (n = Número de placas)}$$

$$(2.4 + 0.5 \text{ AISI 316}) \times n \text{ mm. (n = Número de placas)}$$

| | | | |
|--------|------------|------------|------------------|
| FM, FG | B = 175 mm | C = 240 mm | (máx. 49 placas) |
| | 350 mm | 300 mm | (máx. 63 placas) |
| | 550 mm | 500 mm | (máx. 95 placas) |

FGL B = 250 mm C = 300 mm (máx. 63 placas)
 500 mm 500 mm (máx. 95 placas)

Producción de A.C.S. con panel solar:

| Modelo | Nº Placas | Paneles | (1º) Panel 55°C | | (2º) A.C.S. 45°C | | Pot. Kcal/h |
|--------|-----------|---------|-----------------|--------|------------------|--------|-------------|
| | | | l/h | m.c.a. | l/h | m.c.a. | |
| M3FM L | 8 | 5 | 600 | 0,77 | 600 | 1,17 | 6.000 |
| M3FM L | 12 | 10 | 1.200 | 1,22 | 1.200 | 1,52 | 11.400 |
| M3FM L | 20 | 20 | 2.400 | 1,76 | 2.400 | 1,89 | 22.800 |
| M3FM L | 28 | 30 | 3.600 | 2,06 | 3.600 | 2,08 | 34.200 |
| M3FM L | 35 | 40 | 4.800 | 2,53 | 4.800 | 2,23 | 45.600 |
| M3FM L | 43 | 50 | 6.000 | 2,64 | 6.000 | 2,33 | 56.400 |
| T5M H | 21 | 60 | 7.200 | 2,46 | 7.200 | 2,07 | 67.800 |
| T5M H | 23 | 70 | 8.400 | 2,98 | 8.400 | 2,50 | 79.200 |
| T5M H | 27 | 80 | 9.600 | 2,62 | 9.600 | 2,21 | 90.600 |
| T5M H | 29 | 90 | 10.800 | 2,91 | 10.800 | 2,45 | 102.000 |
| T5M H | 33 | 100 | 11.900 | 2,74 | 11.900 | 2,30 | 112.800 |

FICHA TÉCNICA DEL REGULADOR MUNDOCONTROL RD-MU/3.



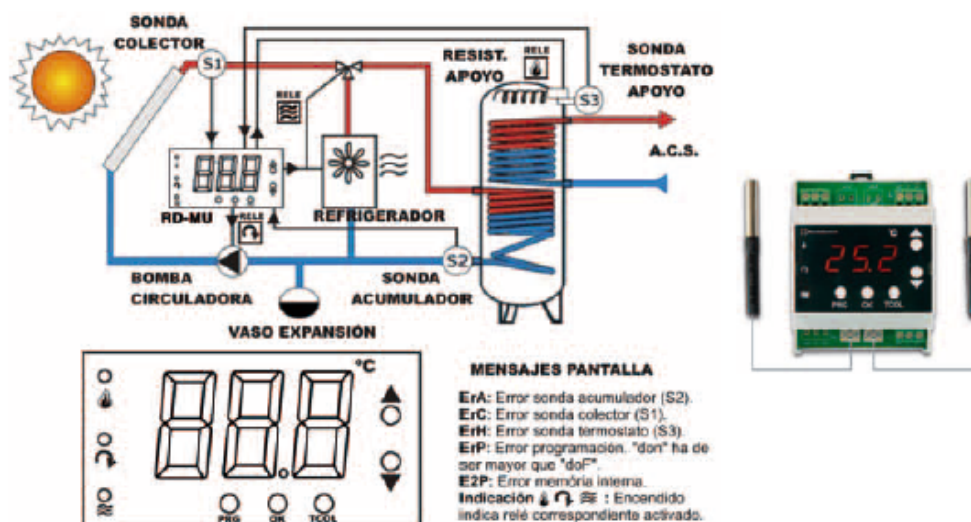
www.salvadorescoda.com

Provença, 392 pl. 1 y 2
08025 BARCELONA
Tel. 93 446 27 80
Fax. 93 456 90 32

CATÁLOGO TÉCNICO

MANUALES, CATÁLOGOS Y HOJAS TÉCNICAS: EN NUESTRA WEB

Termostato diferencial solar + termostato de apoyo



Funcionamiento:

El termostato RD-MU se usa para controlar instalaciones solares. Tiene 3 sondas de temperatura (colector solar, depósito acumulador y termostato de apoyo) y tres relés. El relé se activa/desactiva dependiendo de la diferencia entre la sonda colector (S1) y la sonda acumulador (S2). El relé se activa cuando la temperatura de la sonda colector y/o acumulador (S1 y/o S2) exceden de un determinado valor. El relé maneja la bomba del circuito colector-acumulador. El relé maneja la válvula que conecta el circuito refrigerador. El relé controla el termostato de apoyo dependiendo de la sonda S3, aportando el calor necesario cuando el colector solar es insuficiente o para aprovechamiento del calor sobrante.

- La pantalla muestra la temperatura del depósito acumulador (S2).
- Para ver la temperatura del colector solar (S1), pulsar **TCOL**.
- Para ver la temperatura del termostato de apoyo (S3) pulsar **▲** o **▼**.
- Para entrar en PROGRAMACIÓN de parámetros, pulsar **PRG** durante el tiempo del parámetro "tEP".
- Para forzar la activación del relé (bomba de circulación), mantener pulsada la tecla **TCOL** durante 10 segundos. Se encenderá el led correspondiente. Para desactivar, pulsar cualquier tecla.
- Para forzar la activación del relé (circuito refrigerador) mantener pulsada la tecla **OK** durante 10 segundos. Se encenderá el led correspondiente. Para desactivar pulsar cualquier tecla.
- Para forzar la activación del relé (termostato de apoyo) mantener pulsada la tecla **▲** o **▼** durante 10 segundos. Se encenderá el led correspondiente. Para desactivar pulsar cualquier tecla.

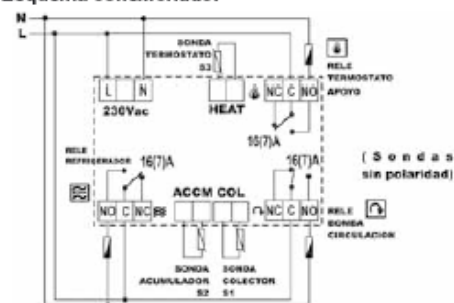
Instalación:

Atención: Antes de efectuar la instalación, asegúrese de desconectar el interruptor general de alimentación de su vivienda.

Es responsabilidad del instalador incorporar la protección eléctrica adecuada a la instalación.

El cable de la sonda debe instalarse alejado de otros conductores eléctricos y tener una longitud máxima de 3 metros, según normativa.

Esquema conexionado:



Ajustes parámetros:

Para ver y/o modificar valores de los parámetros del RD-MU, pulsar la tecla **PRG** durante el tiempo definido en el parámetro "tEP". Soltar teclas. Aparece el primer parámetro "CCo". Para ver su valor pulsar la tecla **OK**. Aparece el valor parpadeando. Con las teclas **▲** **▼** cambiamos el valor del parámetro. Pulsar la tecla **OK** para fijar el valor. Pulsar la tecla **▲** para acceder al siguiente parámetro o pulsar la tecla **▼** para el anterior. Proceder de igual forma con los demás

parámetros. Para salir del ajuste de parámetros pulsar la tecla **PRG** o esperar 40 seg. sin pulsar ninguna tecla.

Parámetros:

CCo Calibración sonda colector solar (S1): Permite reajustar por posición y/o distancia de cableado de la temperatura visualizada de la sonda S1.

CAC Calibración sonda depósito acumulador (S2): permite reajustar por posición y/o distancia de cableado de la temperatura visualizada de la sonda S2.

CHt Calibración sonda termostato apoyo (S3): permite reajustar por posición y/o distancia de cableado de la temperatura visualizada de la sonda S3.

don Diferencia de arranque de la bomba circuladora (°): Si la diferencia de temperatura entre la sonda S1 y la sonda S2 es mayor que este valor se activa la bomba circuladora.

doF Diferencia de parada de la bomba circuladora (°): Si la diferencia de temperatura entre la sonda S1 y la sonda S2 es menor que este valor se desactiva la bomba circuladora.

ALA Alarma temperatura sonda depósito acumulador (S2): Si la temperatura de la sonda depósito acumulador excede este valor, se activan los relés **■** y **■**.

ALC Alarma temperatura sonda colector solar (S1): Si la temperatura de la sonda colector excede este valor, se activan los relés **■** y **■**.

Ant Protección antihielo: Cuando la temperatura de la sonda colector (S1) esté por debajo de este valor, se activará el relé **■**.

ton Temperatura de arranque del termostato de apoyo (°).

toF Temperatura de parada del termostato de apoyo (°):

- Si **ton < toF** --> Termostato usado como apoyo (Calefacción).

- Si **ton > toF** --> Termostato usado para aprovechamiento del calor sobrante (Refrigeración).

- Si **ton = toF** --> Termostato desactivado. Relé **■** desconectado.

Ejemplo Calefacción: Si la temperatura de la sonda S3 es inferior a **ton** se conecta el relé **■**.

Si la temperatura de la sonda S3 es superior a **toF** se desconecta el relé **■**.

Pin Pin de acceso a programación: Número para ver y/o modificar parámetros. De fábrica está en 0 (deshabilitado).

Si el pin es distinto a 0. Al entrar aparece "Pin" y después introducir número con teclas **▲** **▼** y validar con la tecla **OK**.

tEP Tiempo entrada programación parámetros: Tiempo que tenemos que mantener pulsada la tecla **PRG** para acceder a ver y/o modificar parámetros.

| Parámetro | Valores | Por defecto |
|-----------|--------------|-------------|
| CCo | -9.0 a 9.0°C | 0.0°C |
| CAC | -9.0 a 9.0°C | 0.0°C |
| CHt | -9.0 a 9.0°C | 0.0°C |
| don | 2 a 15°C | 8°C |
| doF | 1 a 11°C | 4°C |
| ALA | 15 a 90°C | 55°C |
| ALC | 100 a 140°C | 120°C |
| Ant | -25 a 10°C | 5°C |
| ton* | 0 a 95°C | 40°C |
| toF* | 0 a 95°C | 45°C |
| Pin | 0 a 99 | 0 |
| tEP | 3 a 40 seg. | 5 seg. |

Características técnicas:

| | |
|-----------------------------|-------------------------------|
| Precisión | ±1°C |
| Resolución | 0.1°C (entre -19.9 y 99.9°C) |
| Sondas temperatura | PTC 2000 Ohm IP67 |
| Longitud máxima cable sonda | 3 m |
| Sección cable a conectar | 1.5 mm ² |
| Visualización temperatura | -40 a 140 |
| Carga resistiva máxima | 16A a 250VAC |
| Carga inductiva máxima | 7A a 250 VAC |
| Temperatura trabajo | -5°C a 45°C |
| Temperatura almacenaje | -10°C a 50°C |
| Grado de protección | IP30 |
| Alimentación | 230Vac + 10% - 15% 50/60Hz |

Garantía:

El aparato tiene 2 años de garantía, limitándose al reemplazamiento de la pieza defectuosa.

No existirá garantía en:

- Aparatos defectuosos, resultado de una mala manipulación o conexión incorrecta.
- Aparatos modificados sin previo acuerdo con el fabricante.
- Aparatos deteriorados a consecuencia de golpes o emanaciones líquidas o gaseosas.

FICHA TÉCNICA DEL ACUMULADOR SOLAR Y DE CALDERA.



www.salvadorescoda.com

Provença, 392 pl. 1 y 2
08025 BARCELONA
Tel. 93 446 27 80
Fax. 93 456 90 32

CATÁLOGO TÉCNICO

MANUALES, CATÁLOGOS Y HOJAS TÉCNICAS: EN NUESTRA WEB

Acumuladores de ACS, pequeña y gran capacidad



Depósito para acumulación de agua caliente sanitaria (y/o agua fría), con capacidades desde 200 hasta 1000 litros. Fabricado en acero vitrificado S/DIN 4753. Preparado para la producción de agua caliente sanitaria a través de intercambiador de placas y/o resistencias eléctricas de calentamiento. Aislado térmicamente con espuma rígida de poliuretano inyectado en molde, libre de CFC.

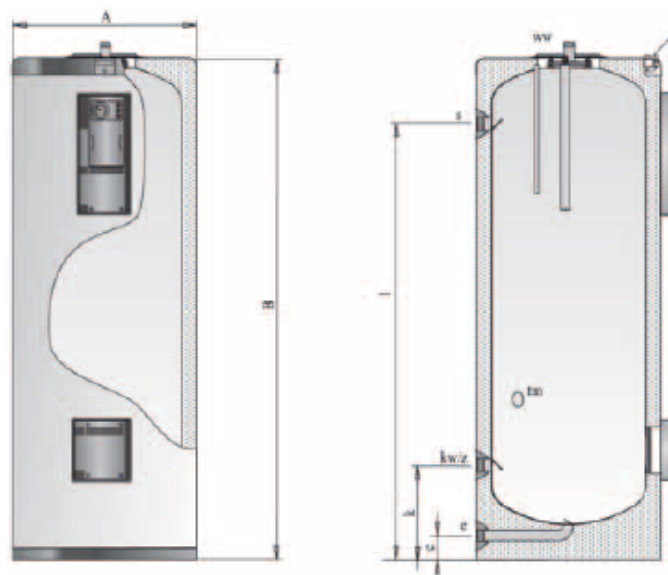
En los modelos de 800 y 1000 litros las conexiones de salida de agua caliente y recirculación se sitúan en el lateral

del depósito para facilitar así la instalación.

Su diseño permite desmontar el aislante térmico en los laterales facilitando así su paso en entradas con dimensiones reducidas.

Todos los modelos incorporan termómetro para el A.C.S. situado en el panel de control.

Depósitos desde 200 a 500 litros, sin serpentín para acumulación o producción de ACS, por medio de intercambiador de placas



Características técnicas:

| Modelo | | CV-200-SR | CV-300-SR | CV-500-SR |
|---------------------------------------|--------|-----------|-----------|-----------|
| Código | | CC 01 749 | CC 01 750 | CC 01 751 |
| Capacidad de ACS | litros | 200 | 300 | 500 |
| Temperatura máx. depósito ACS | °C | 90 | 90 | 90 |
| Presión máx. depósito de ACS | bar | 8 | 8 | 8 |
| Peso en vacío (aprox.) | Kg | 70 | 90 | 130 |
| kw-z: entrada agua fría/recirculación | GAS/M | 1-1/4 | 1-1/4 | 1-1/4 |
| ww: salida ACS | GAS/M | 1-1/4 | 1-1/4 | 1-1/4 |
| s: conexión lateral | GAS/M | 1-1/4 | 1-1/4 | 1-1/4 |
| e: desagüe | GAS/M | 1 | 1 | 1 |
| tm: conexión sensores laterales | GAS/M | 3/4 | 3/4 | 3/4 |
| t: medidor de estado de ánodo | | | | |
| Cota A: diámetro exterior | mm | 620 | 620 | 770 |
| Cota B: Longitud total | mm | 1205 | 1685 | 1690 |
| Cota c: | mm | 84 | 84 | 84 |
| Cota k: | mm | 320 | 320 | 360 |
| Cota l: | mm | 980 | 1460 | 1420 |

FICHA TÉCNICA DE LA CALDERA DE GAS.

15 CALDERAS MURALES A GAS «DOMIPROJECT»



RENDIMIENTO

- 3^{***} de rendimiento en modelos estancos, lo que significa valores superiores al 93%, que indica el nivel de máximo aprovechamiento del combustible consumido.

FUNCIÓN ECO-CONFORT

- Mantenemos el cuerpo de caldera caliente (en torno a los 60°C) para poder suministrar A.C.S. de manera prácticamente instantánea y con una gran estabilidad de temperatura.

ANTIHIELO

- Esta función se activa, si la sonda de primario nos detecta una temperatura inferior a 5°C. Nos encenderá el quemador, y trabajará el circulador de calefacción hasta conseguir una temperatura en la sonda de 35°C. Posteriormente el circulador seguirá trabajando durante 6 minutos.

ANTIBLOQUEO CIRCULADOR


- Tanto para el circulador de calefacción como para el de sanitario, después de 24 horas de inactividad, el circulador se alimenta eléctricamente durante 3 segundos.



| Código | Modelo | Tipo de gas | € |
|-----------------------|-------------------------|-------------|----------|
| CÁMARA ABIERTA | | | |
| CE 15 081 | DOMIproject C 24 GN | Natural | 943,00 |
| CE 15 082 | DOMIproject C 24 G.L.P. | Propano | 943,00 |
| CE 15 083 | DOMIproject C 32 GN | Natural | 1.423,00 |
| CE 15 084 | DOMIproject C 32 G.L.P. | Propano | 1.423,00 |
| CÁMARA ESTANCA | | | |
| CE 15 085 | DOMIproject F 24 GN | Natural | 1.290,00 |
| CE 15 086 | DOMIproject F 24 G.L.P. | Propano | 1.290,00 |
| CE 15 087 | DOMIproject F 32 GN | Natural | 1.656,00 |
| CE 15 088 | DOMIproject F 32 G.L.P. | Propano | 1.656,00 |

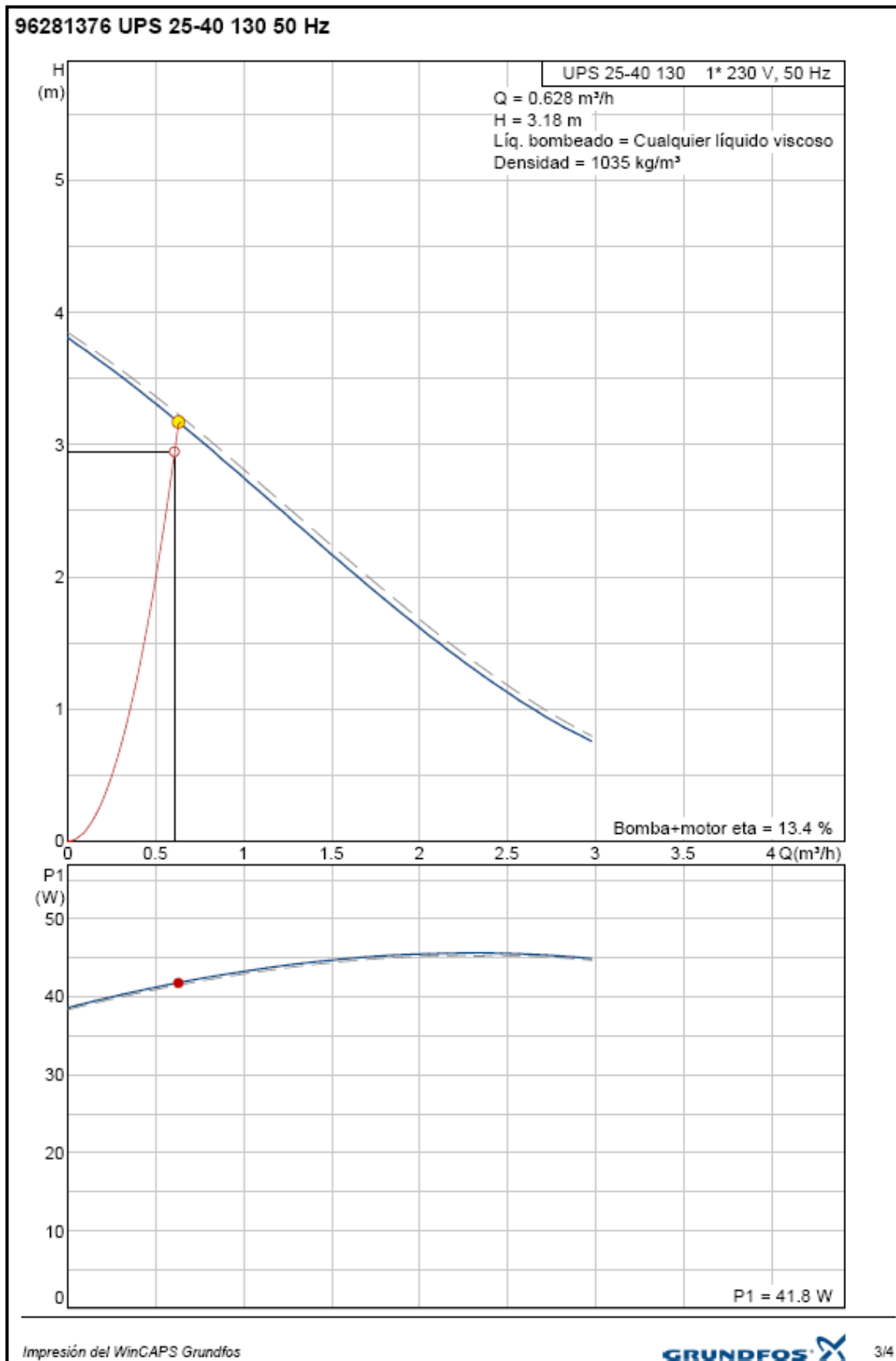
| Modelo | | | C 24 | C 32 | F 24 | F 32 |
|--|-------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Potencia nominal útil | Min. | kW | 7 | 9,7 | 7,2 | 9,9 |
| | Máx. | kW | 23,5 | 31,3 | 24 | 32 |
| Gasto calorífico PCI | | kW | 25,8 | 34,1 | 25,8 | 34,4 |
| Rendimiento en Pot.Nominal (80° - 60°C) | | % | 91 | 91 | 93 | 93,1 |
| Clasificación energética, según 92/42 CEE | | | A+ | A+ | A++ | A++ |
| Clase emisión NOx, según EN 297/A - EN 483 | | | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Rango de trabajo | Calefacción | °C | 30° - 85°C | 30° - 85°C | 30° - 85°C | 30° - 85°C |
| | ACS | °C | 40° - 65°C | 40° - 65°C | 40° - 65°C | 40° - 65°C |
| Producción ACS | Δt = 25°C | l/min | 13,4 | 17,9 | 13,7 | 18,3 |
| | Δt = 30°C | l/min | 11,2 | 14,9 | 11,4 | 15,2 |
| Volumen vaso expansión | | litros | 6 | 10 | 6 | 10 |
| Presión máxima ejercicio | Calefacción | bar | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | ACS | bar | 9 | 9 | 9 | 9 |
| Peso | | kg | 25 | 30 | 30 | 35 |
| Grado de protección | | IP | X5D | X5D | X5D | X5D |
| Dimensiones | | mm | 400 x 700 x 230 | 400 x 700 x 330 | 400 x 700 x 230 | 400 x 700 x 330 |

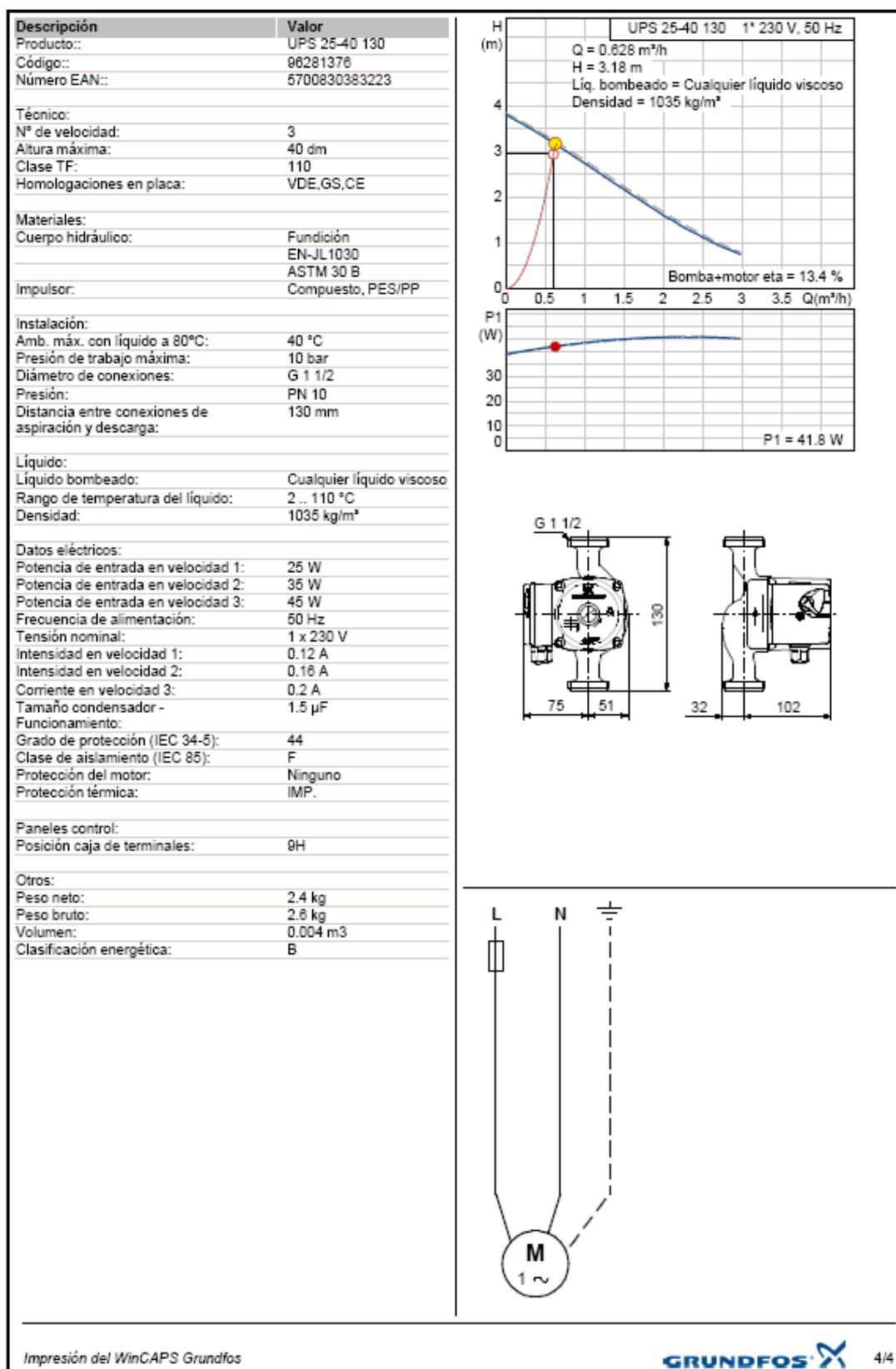
FICHA TÉCNICA DE LA BOMBA UPS 25-40 130.

| Posición | Contar | Descripción |
|----------|--------|---|
| | 1 | <p style="text-align: center;">UPS 25-40 130</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>Código: 96281376</p> <p>La bomba es del tipo de rotor encapsulado, es decir la bomba y el motor forman una unidad íntegra sin cierre y con sólo dos juntas para el sellado. Los cojinetes están lubricados por el líquido bombeado.</p> <p>La bomba tiene selector de velocidad de</p> <p>La bomba se caracteriza por:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Eje y cojinetes radiales de cerámica. * Cojinete axial de carbono. * Camisa del rotor y placa soporte de acero inoxidable. * Impulsor resistente a la corrosión, Compuesto, PES/PP. * Cuerpo de bomba de Fundición. <p>El motor es un motor 1-fásico.</p> <p>No se requiere protección adicional de motor.</p> <p>Líquido:</p> <p>Líquido bombeado: Cualquier líquido viscoso</p> <p>Rango de temperatura del líquido: 2 .. 110 °C</p> <p>Densidad: 1035 kg/m³</p> <p>Técnico:</p> <p>Clase TF: 110</p> <p>Homologaciones en placa: VDE,GS,CE</p> <p>Materiales:</p> <p>Cuerpo hidráulico: Fundición EN-JL1030 ASTM 30 B</p> <p>Impulsor: Compuesto, PES/PP</p> <p>Instalación:</p> <p>Amb. máx. con líquido a 80°C: 40 °C</p> <p>Presión de trabajo máxima: 10 bar</p> <p>Diámetro de conexiones: G 1 1/2</p> <p>Presión: PN 10</p> <p>Distancia entre conexiones de aspiración y descarga: 130 mm</p> <p>Datos eléctricos:</p> <p>Potencia de entrada en velocidad 1: 25 W</p> <p>Potencia de entrada en velocidad 2: 35 W</p> <p>Potencia de entrada en velocidad 3: 45 W</p> <p>Frecuencia de alimentación: 50 Hz</p> <p>Tensión nominal: 1 x 230 V</p> <p>Intensidad en velocidad 1: 0.12 A</p> <p>Intensidad en velocidad 2: 0.16 A</p> <p>Corriente en velocidad 3: 0.2 A</p> |




| Posición | Contar | Descripción | Precio unit |
|--------------------------------|--------|---|-------------|
| | | Tamaño condensador - Funcionamiento: 1.5 μ F Grado de protección (IEC 34-5): 44 Clase de aislamiento (IEC 85): F Otros: Peso neto: 2.4 kg Peso bruto: 2.6 kg Volumen: 0.004 m3 Clasificación energética: B | |
| Impresión del WinCAPS Grundfos | | | |
| GRUNDFOS | | | 2/4 |






FICHA TÉCNICA DE LA BOMBA UPS 25-25 180.

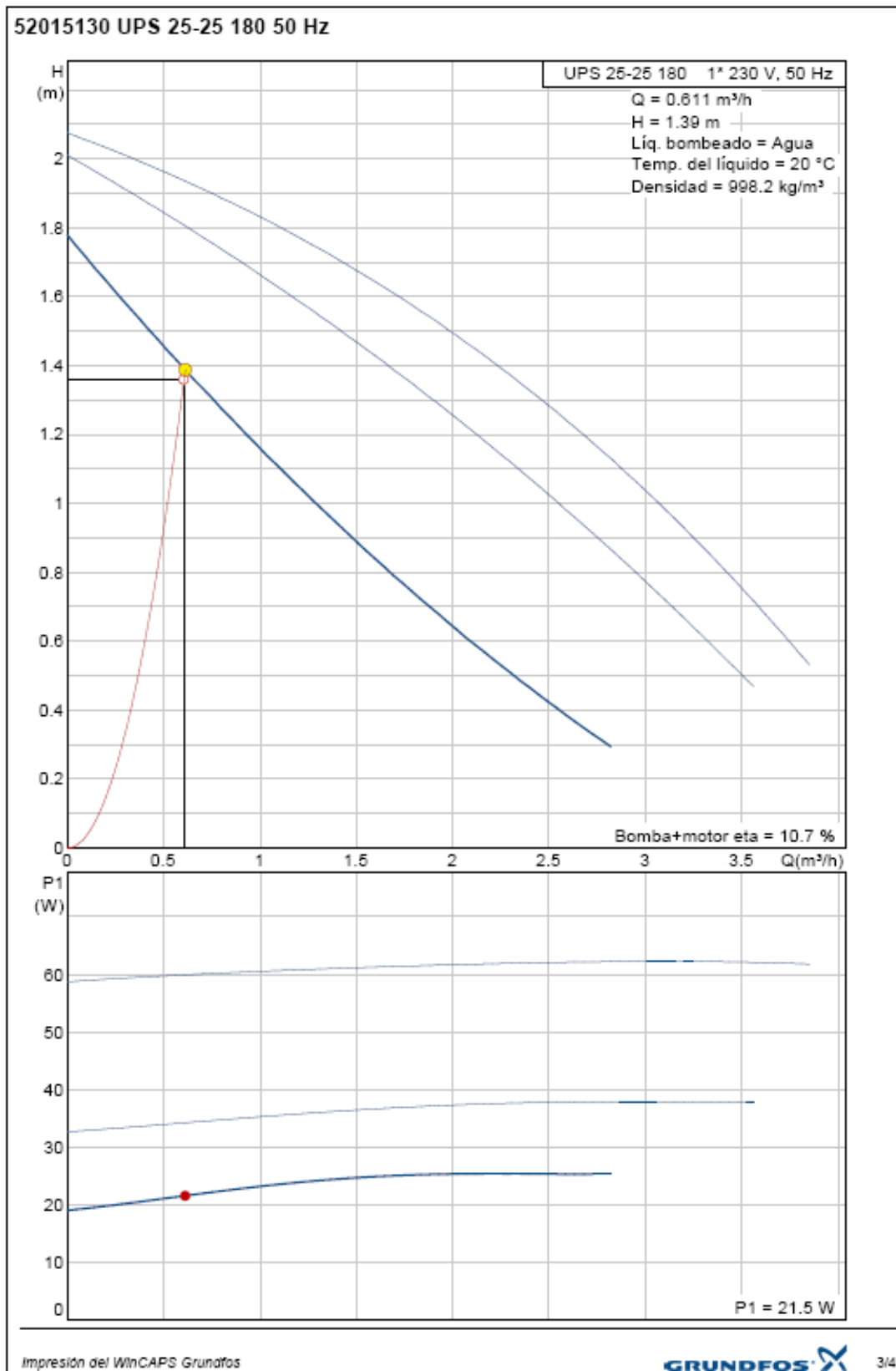
| Posición | Contar | Descripción |
|----------|--------|--|
| | 1 | <p style="text-align: center;">UPS 25-25 180</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>Código: 52015130</p> <p>La bomba es del tipo de rotor encapsulado, es decir la bomba y el motor forman una unidad íntegra sin cierre y con sólo dos juntas para el sellado. Los cojinetes están lubricados por el líquido bombeado.</p> <p>La bomba tiene selector de velocidad de</p> <p>La bomba se caracteriza por:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Eje y cojinetes radiales de cerámica. * Cojinete axial de carbono. * Camisa del rotor y placa soporte de acero inoxidable. * Impulsor resistente a la corrosión, Compuesto, PES/PP. * Cuerpo de bomba de Fundición. <p>El motor es un motor 1-fásico.</p> <p>No se requiere protección adicional de motor.</p> <p>Líquido:</p> <p>Rango de temperatura del líquido: -25 .. 110 °C</p> <p>Temp. líquido: 20 °C</p> <p>Densidad: 998.2 kg/m³</p> <p>Técnico:</p> <p>Caudal real calculado: 0.611 m³/h</p> <p>Altura resultante de la bomba: 1.39 m</p> <p>Clase TF: 110</p> <p>Homologaciones en placa: CE</p> <p>Materiales:</p> <p>Cuerpo hidráulico: Fundición EN-JL1030 ASTM 30 B</p> <p>Impulsor: Compuesto, PES/PP</p> <p>Instalación:</p> <p>Amb. máx. con líquido a 80°C: 80 °C</p> <p>Presión de trabajo máxima: 10 bar</p> <p>Diámetro de conexiones: G 1 1/2</p> <p>Presión: PN 10</p> <p>Distancia entre conexiones de aspiración y descarga: 180 mm</p> <p>Datos eléctricos:</p> <p>Potencia de entrada en velocidad 1: 25 W</p> <p>Potencia de entrada en velocidad 2: 40 W</p> <p>Potencia de entrada en velocidad 3: 60 W</p> <p>Frecuencia de alimentación: 50 Hz</p> <p>Tensión nominal: 1 x 230 V</p> |

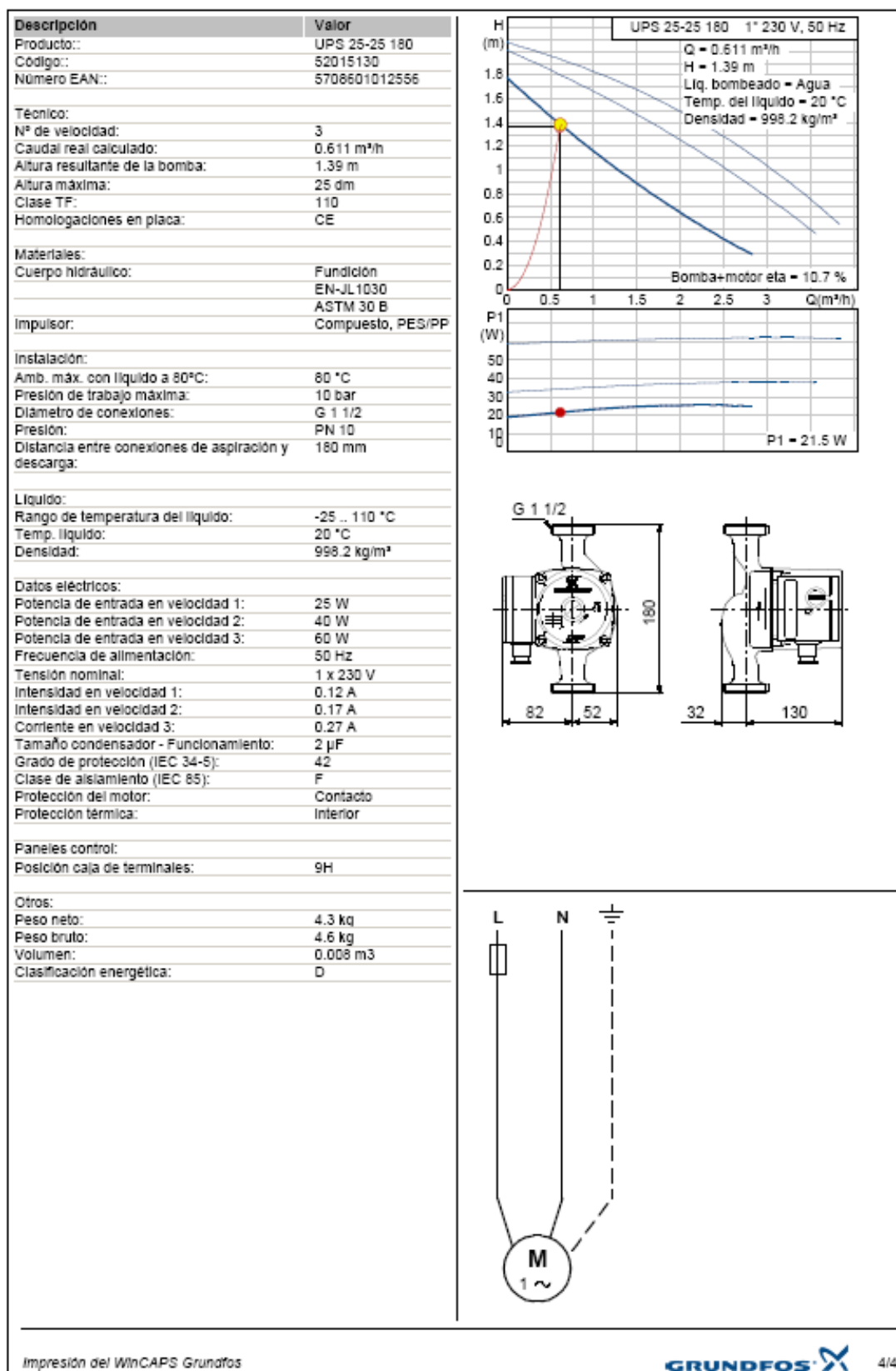


| Posición | Contar | Descripción | Precio unit. |
|----------|--------|--|--------------|
| | | Intensidad en velocidad 1: 0.12 A Intensidad en velocidad 2: 0.17 A Corriente en velocidad 3: 0.27 A Tamaño condensador - Funcionamiento: 2 µF Grado de protección (IEC 34-5): 42 Clase de aislamiento (IEC 85): F Otros: Peso neto: 4.3 kg Peso bruto: 4.6 kg Volumen: 0.008 m3 Clasificación energética: D | |

Impresión del WinCAPS Grundfos

GRUNDFOS  2/4





Ref. Artículo: Rodríguez M.C., Rodríguez P.A., Salgado R., Venegas M., Lecuona A.: Transferencia de calor en colectores solares planos, considerando velocidad y dirección del viento. Proceedings XIV Congreso Ibérico y IX Congreso Iberoamericano de Energía Solar. Vigo, Galicia España 2008, pp 407-412 ISBN978-84-612-4470-6.

TRANSFERENCIA DE CALOR EN COLECTORES SOLARES PLANOS, CONSIDERANDO VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO.

Rodríguez, M. C., Rodríguez, P. A., Salgado, R., Venegas, M., Lecuona, A.

Universidad Carlos III de Madrid (UC3M) Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos Avda. Universidad 30, 28911 Leganés, Madrid, España. Teléfono: 91 624 99 55
FAX: 91 624 94 06 e-mail: mcrodrig@ing.uc3m.es

RESUMEN

El rendimiento de los colectores solares térmicos depende de la temperatura de proceso, además de radiación, temperatura ambiente, dirección y velocidad del viento, así como de parámetros del colector: espesor y calidad del aislamiento, características ópticas del absorbedor y cubierta transparente, etc. Se realiza un balance de energía no estacionario sobre el colector para obtener un modelo que evalúe sus pérdidas. Los resultados numéricos se validan con medidas experimentales de una instalación ubicada en la UC3M. Con estos datos junto con los ambientales, se compara la curva de normalización con el rendimiento predicho por el modelo ajustado a los resultados experimentales, detectándose que la curva de normalización se aleja de los valores reales. Se identifican las causas principales de la discrepancia: la degradación del colector, y la reportada influencia del viento.

PALABRAS CLAVE: Colectores solares térmicos, pérdidas térmicas, rendimiento.

ABSTRACT

Thermal solar collector performance depends on the process temperature but also on environmental variables like solar radiation, ambient temperature, wind speed and wind direction. Collector operating design parameters like insulating and optical characteristics will affect also its performance. An unsteady energy balance on the collector developing a numerical method has been carried out to evaluate thermal losses. The numerical results are validated with experimental data from the facility placed at UC3M. These data, together with environmental variables, enable to calculate experimentally the collector performance to be compared with normalization curve and model prediction. The latest ones adjust more accurately to experimental than those from normalization curve. The main causes for this discrepancy are optical degradation of the collector due to aging and the wind effects.

KEYWORDS: Thermal solar collectors, thermal losses, collector performance.

INTRODUCCIÓN

En los colectores solares se produce la transformación de energía solar en forma de radiación térmica en energía útil manifestada como una elevación de la temperatura de un fluido caloportador. Esa transformación será más o menos eficiente según las pérdidas térmicas inherentes al colector, ocasionadas por procesos de transferencia de calor mediante conducción, convección y radiación.

Una de las formas de caracterizar un colector es su curva de normalización. Existen dos normativas para ensayar colectores, en USA la ASHRAE 93 y en Europa la EN 12975-2. Sus modos de ensayos difieren en que la primera utiliza un modelo estacionario, sin contabilizar las pérdidas por viento y la segunda uno quasi-estacionario con la posibilidad de utilizar datos con velocidades de viento entre 1-4 m/s. Rojas et al. (2008) compararon experimentalmente los resultados de ambas llegando a la conclusión de que obtienen valores similares de rendimiento, siendo no obstante menores los obtenidos por la norma europea al poderse ensayar el colector con viento.

A pesar de que con EN 12975-2 se permite contabilizar el efecto del viento, según la base de datos del Instituto SPF (Solartechnik Prüfung Forschung), uno de los organismos oficiales que se dedica a la normalización de colectores, obtenida por Kalogirou (2006), únicamente se realizan con viento el 38% de los ensayos. El hecho de que existan ensayos con viento y otros sin viento producirá diferencias entre la actuación de los colectores en condiciones reales y las predichas por la curva de normalización. Procede por tanto evaluar cómo se modifican las prestaciones de los colectores al menos en función de valores locales de la velocidad y dirección del viento, proporcionados por estaciones meteorológicas convencionales.

Las pérdidas por convección externa debida a la velocidad del viento, se han contabilizado durante años con ecuaciones del tipo: $h_{\text{viento}} = a + b \cdot V_{\text{viento}}$. Sartori (2006) realiza una comparación entre muchas de ellas debidas a diferentes autores, intentando llegar a una más precisa, válida para todos los casos basándose en la teoría de la capa límite y diferenciando entre flujo laminar y turbulento. Sin embargo los cambios en la dirección del viento no se contemplan a pesar de que pone de manifiesto que tiene una gran influencia en la transferencia de calor. Oliphant (1980) llegó a la conclusión de que es necesario medir la dirección del viento en las proximidades de los colectores y no a una altura superior para evitar errores a la hora de definir los coeficientes a y b de la ecuación anterior. Kumar et al. (1997), Francey et al. (1985) utilizan túneles de viento en los que calculan las pérdidas de los colectores según la inclinación del colector, a diferentes velocidades y sobre algunas direcciones de ángulo de incidencia de la corriente en la superficie. Sharples et al. (1998), realizan el estudio en un colector expuesto a las condiciones ambientales y calculan la correlación para cada dirección del viento medida.

El envejecimiento Rudnick (1986), y el ensuciamiento Elminir et al. (2006) tienen también un efecto significativo sobre el rendimiento, que debe ser cuantificado separadamente de las pérdidas por viento.

La motivación principal de este trabajo es la elaboración de un modelo de transferencia de calor en régimen no estacionario capaz de cuantificar las pérdidas de calor en los colectores de la instalación ubicada en la UC3M y predecir su comportamiento en distintas condiciones de uso que se validará experimentalmente. En la bibliografía científica (Cristofari et al. 2002) se encuentran modelos fenomenológicos para la transferencia de calor en colectores. Lamentablemente no se dispone de validación experimental de los mismos, ni se ha cuantificado separadamente la influencia del envejecimiento, y de la dirección y velocidad del viento, como se hace en este trabajo. Posteriormente se analizarán

las diferencias presentes entre los rendimientos obtenidos tanto experimentalmente como mediante el modelo, con el predicho por la curva de normalización para posteriormente utilizarlo en la caracterización de sus actuaciones. El modelo deberá evaluar la influencia de las pérdidas de captación de energía (habitualmente las denominadas pérdidas ópticas en la curva de normalización) y las pérdidas por transferencia de calor.

INSTALACIÓN SOLAR EXPERIMENTAL

La instalación solar con la que se cuenta en la UC3M está compuesta por 50 m² de colectores térmicos planos con una latitud $\Phi = 40.31^\circ$, una inclinación $\beta = 40^\circ$, orientados al Sur con un ángulo de azimut $\gamma = 172.211^\circ$. Los colectores se instalaron en 1999 como parte perteneciente a una instalación solar para la simulación de producción de calefacción y aire acondicionado. Para una mayor descripción de la instalación consultar Rodríguez et al. (2007). Además se cuenta con una estación metereológica a 6.5 m de altitud de los colectores donde se mide radiación, temperatura, humedad ambiente, velocidad y dirección del viento. Los colectores están instrumentados de forma que se conoce el caudal que circula por ellos, la temperatura de entrada y la de salida del fluido. Además se han añadido 3 termopares más al colector para medir la temperatura del cristal, la temperatura de la caja y la temperatura de la placa absorbidora tal y como muestra la Figura 1. Todos los datos se toman cada 2 s y se promedian cada 10 min.

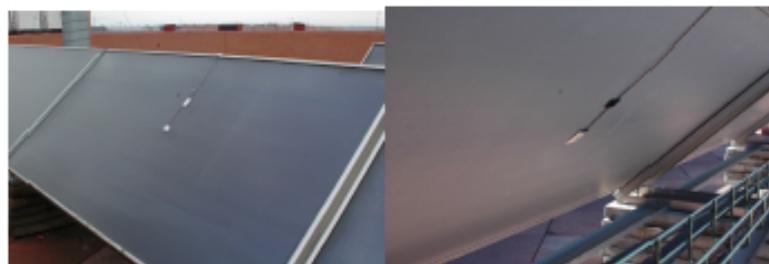


Figura 1: Medidas de temperaturas en cara superior e inferior del colector.

MODELIZACION DE COLECTORES EN RÉGIMEN TRANSITORIO

La modelización está basada en realizar un balance de energía no estacionario sobre el colector de forma que se determinan en detalle las pérdidas térmicas. Los procesos de transferencia de calor contemplados en el modelo son (ver Fig. 2.): radiación existente entre la superficie acristalada y el cielo, convección forzada externa sobre el cristal de los colectores, conductividad en el cristal, convección natural en la capa de aire interna entre el cristal y el absorbedor, radiación entre el absorbedor y el cristal debida a la diferencia de temperaturas existentes entre ambos, conductividad en el aislante, conductividad en el tubo de cobre, convección forzada en la parte trasera de los colectores. Las resistencias que se contemplan en una primera aproximación son las típicas de conducción y convección para superficies planas, sin embargo se encuentra que la solución a la que se llega no describe el comportamiento del colector de nuestra instalación. Para ello, dado que se conocen las temperaturas en las superficies más significativas del mismo, se ajustan las resistencias debidas a convección tanto exterior como interior, ya que son las que presentan una incertidumbre mayor. La resistencia de la placa absorbidora, al ser una transferencia de calor no lineal se calcula experimentalmente con un balance de energía en la placa entre la temperatura de la placa y la temperatura media del fluido que pasa por los tubos,

$R_{\text{cond placa}} = 0.012 \cdot K \cdot W^{-1}$. La resistencia radiativa exterior del cristal se calcula como

$$R_{\text{radE}} = \frac{1}{\epsilon_{\text{cristal}} \cdot \sigma \cdot A \cdot [(T_{\text{cristal}})^2 + (T_{\text{cielo}})^2] \cdot (T_{\text{cristal}} + T_{\text{cielo}})}, \text{ definiéndose una temperatura de cielo}$$

utilizando el valor del parámetro K_T . Se desprecia la radiación entre la parte trasera y el suelo y pretil de la cubierta, debida a la pequeña diferencia de temperatura existente. Ambas son próximas a la temperatura ambiente. La resistencia de radiación entre el absorbedor y el cristal del colector se define mediante la siguiente ecuación:

$$R_{\text{radI}} = \frac{(\epsilon_{\text{IRcristal}} + \epsilon_{\text{IRplaca}} - \epsilon_{\text{IRcristal}} \cdot \epsilon_{\text{IRplaca}})}{\epsilon_{\text{IRcristal}} \cdot \epsilon_{\text{IRplaca}} \cdot \sigma \cdot A \cdot [(T_{\text{placa}})^2 + (T_{\text{cristalabajo}})^2] \cdot (T_{\text{placa}} + T_{\text{cristalabajo}})}. \text{ La convección interior en los}$$

tubos se calcula con la ecuación de Dittus-Boelter $Nu_D = 0.023 \cdot Re_D^{4/5} \cdot Pr^{0.4}$. Para estudiar el efecto debido al viento, en el exterior de los colectores, tanto para el cristal como para la caja, se ha descompuesto el módulo de la velocidad del viento, según la componente principal de la dirección del viento en esos días, paralela a la superficie o perpendicular a la misma. De esa forma se han podido ajustar las correlaciones del número de Nusselt empíricamente, para dichas direcciones extremas, y componiendo ambas se puede describir la convección para cualquier dirección del viento intermedia entre 0° y 90° .

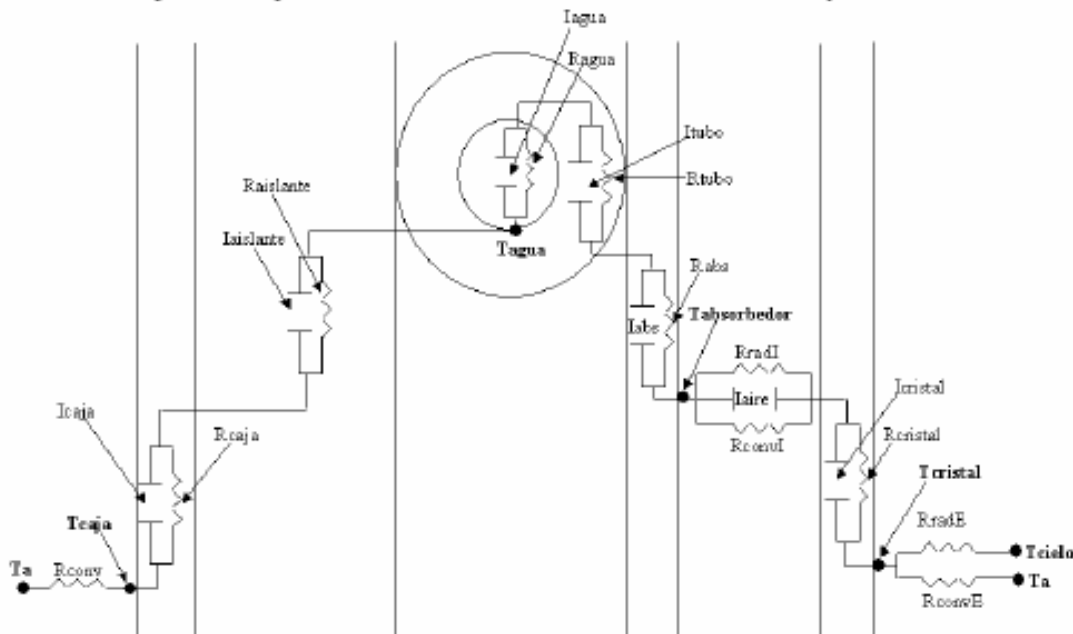


Figura 2: Esquema de resistencias térmicas del colector.

Para la parte superior del colector se han encontrado las siguientes correlaciones: $Nu_{CF} = 3.846 \cdot Re_{CF}^{0.325} \cdot Pr^{1/3}$ $Nu_{PF} = 0.105 \cdot Re_{PF}^{0.646} \cdot Pr^{1/3}$ y para la parte posterior se han encontrado: $Nu_{CF} = 0.135 \cdot Re_{CF}^{0.703} \cdot Pr^{1/3}$ $Nu_{PF} = 8.948 \cdot Re_{PF}^{0.385} \cdot Pr^{1/3}$. La convección natural en el aire interior del colector se ha asemejado al flujo en una cavidad rectangular inclinada. La correlación empírica que se ha encontrado es $Nu_1 = 4.328 \cdot 10^{-10} \cdot (Ra_1)^2 - 1.478 \cdot 10^{-6} \cdot Ra_1 + 1.001$

Dada la no estacionariedad del modelo, se han tenido en cuenta las inercias térmicas presentes en cada uno de los componentes del colector, calculándose la derivada mediante una aproximación de diferencias finitas centradas.

RESULTADOS

Se calcula el rendimiento de los colectores tomando las horas centrales del día (10-16h local) de 54 días, que hacen un total de 427 medidas útiles, mediante la ecuación de normalización del colector, mediante los valores experimentales y mediante el modelo descrito anteriormente, comparándose en la Fig 3.

Los datos procedentes del modelo se ajustan a los experimentales, lo que también sucede con las temperaturas monitorizadas en las superficies del colector, mientras que la curva de normalización queda por encima de los valores reales. Las causas principales de la discrepancia son atribuibles a la degradación óptica del colector y a la reportada influencia del viento. Una vez validado el modelo se aplica para determinar la sensibilidad del rendimiento a las variaciones de velocidad y ángulo de incidencia, Fig 4.

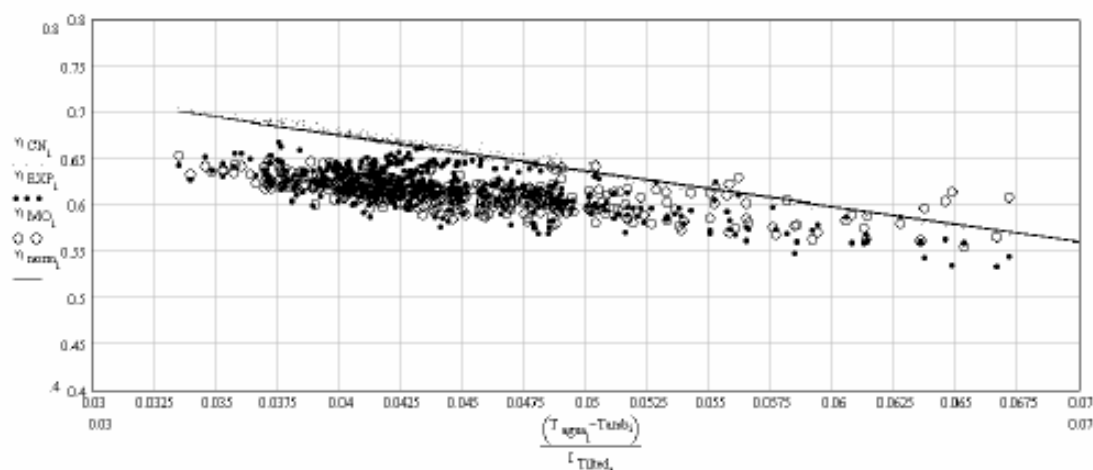


Figura 3: Rendimiento del colector real η_{EXP} modelo η_{MO} y curva de normalización η_{CN}

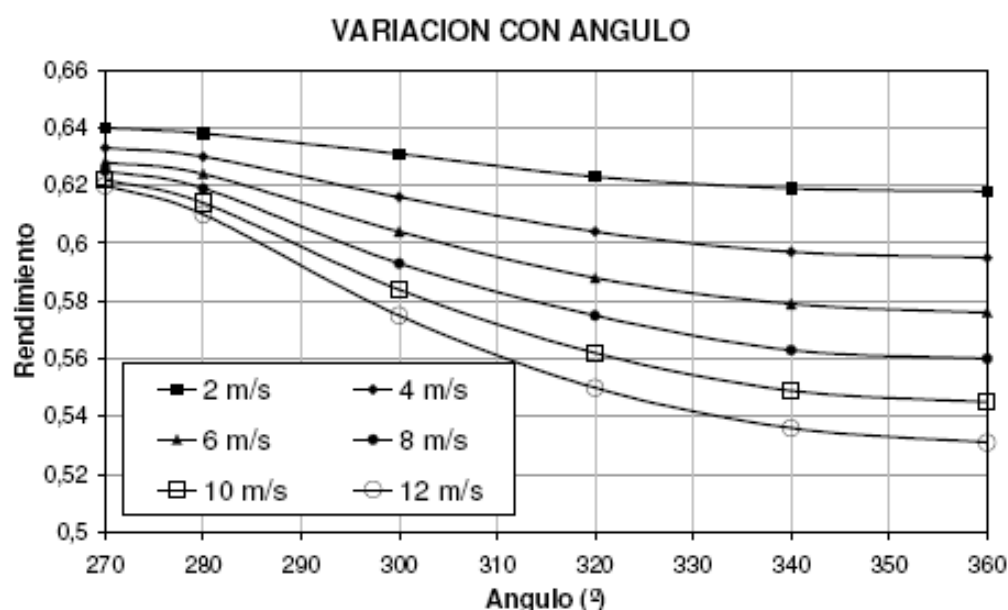


Fig. 4: Variación de rendimiento con el ángulo y módulo de velocidad del viento

CONCLUSIONES

Se ha desarrollado y validado un modelo de pérdidas en colectores en estado no estacionario contabilizando las pérdidas por viento, tanto en módulo como en dirección.

Del ajuste del modelo a las medidas experimentales se han obtenido asimismo los valores actuales de las pérdidas de captación o pérdidas ópticas, con un rendimiento óptico de 0,75.

Se han obtenido correlaciones empíricas para el número de Nusselt tanto para las caras exteriores del colector como para la capa de aire presente en el interior del mismo, caracterizando todos los procesos de transferencia de calor del colector, tanto en las superficies internas como externas.

Se han cuantificado las diferencias en rendimiento del colector respecto de la curva de normalización. El modelo elaborado permite predecir el comportamiento real del colector bajo unas condiciones específicas de viento y envejecimiento.

Para los colectores solares ensayados (Vitosol 100 de VIESMANN), sus pérdidas ópticas se han incrementado un 4 % debido al envejecimiento del colector (9 años) y otro 4 % (máximo) se debe al efecto del viento. La sensibilidad del cambio de rendimiento debido al viento es de - 0,7 %/(m/s) variando en un - 0,1 % por grado con respecto al flujo paralelo.

REFERENCIAS

- Cristofari C., Notton G., Poggi P., Louche A., "Modelling and performance of a copolymer solar water heating collector" *Solar Energy* Vol. 72 No. 2 pp. 99-112, 2002
- Eicker U., "Solar Technologies for Buildings" Ed. John Wiley ISBN 0-471-48637-X
- Elminir H. K., Ghitass A. E., Hamid R. H., El-Hussainy F., Beheary M. M., Abdel-Moneim K. M., (2006) "Effect of dust on the transparent cover of solar collectors" *Energy Conversion and Management*, 47, pp. 3192-3203
- Francey J. L. A., Papaioannou J., (1985) "Wind-related heat losses of a flat-plate collector" *Solar Energy* Vol. 35 No. 1, pp. 15-19
- Kalogirou Soteris A., (2006) "Prediction of flat- plate collector performance parameters using artificial neural networks", *Solar Energy* 80 pp. 248-259
- Kumar S., Sharma V. B., Kandpal T. C., Mullick S.C., (1997) "Wind induced heat losses from outer cover of solar collectors" *Renewable Energy*, Vol. 10 no. 4, pp. 613-616
- Oliphant M. V., (1980) "Measurement of wind speed distributions across a solar collector" *Solar Energy* Vol. 24 pp. 403-405
- Rodriguez Hidalgo M. C., Rodriguez Aumente P., Izquierdo Millán M., Lecuona Neumann A., Salgado Mangual R., "Energy and carbon emission savings in Spanish housing air-conditioning using solar driven absorption system" *Applied Thermal Engineering* doi:10.1016/j.applthermaleng.2007.11.013
- Rojas D., Beermann J., Klein S.A., Reindl D. T. (2008) "Thermal performance testing of flat-plate collectors" *Solar Energy* doi:10.1016/j.solener.2008.02.001
- Rudnick A., Kaplan Y., Kudish A. I., Wolf D., (1986) "A study of solar collector aging, installation and materials problems" *Solar Energy*, Vol. 36 No. 3 pp. 227-240
- Sartori E., (2006) "Convection coefficient equations for forced air flow over flat surfaces", *Solar Energy*, 80 pp. 1063-1071
- Sharples S., Charlesworth P. S., (1998) "Full-scale measurements of wind-induced convective heat transfer from a roof-mounted flat plate solar collector", *Solar Energy* 62, No 2, pp 69-77

ANEXO 5.**España superará en 2020 el objetivo del 20% de renovables fijado por la UE.**

- España prevé que en 2020 la participación de las renovables en nuestro país será del 22,7% sobre la energía final y un 42,3% de la generación eléctrica.
- Este superávit podrá ser utilizado, a través de los mecanismos de flexibilidad previstos en la Directiva de renovables, para su transferencia a otros países europeos que resulten deficitarios en el cumplimiento de sus objetivos.
- Las estimaciones han sido informadas a la Comisión Europea en cumplimiento de la Directiva de Energías renovables recientemente aprobada.

07.01.10. La aportación de las energías renovables al consumo final bruto de energía en España se estima para el año 2020 en un 22,7%, casi tres puntos superior al objetivo obligatorio fijado por la Unión Europea para sus estados miembros, mientras que la aportación de las renovables a la producción de energía eléctrica alcanzará el 42,3%, con lo que España también superará el objetivo fijado por la UE en este ámbito (40%).

Los datos están contenidos en el anticipo del Plan de Renovables 2011-2020, enviado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio a la Comisión Europea en cumplimiento de la propia directiva comunitaria sobre la materia (2009/28/CE), que contempla objetivos obligatorios de energías renovables para la UE y para cada uno de los Estados miembros en el año 2020, y la elaboración por parte de éstos de planes de acción nacionales para alcanzar dichos objetivos.

Cada país miembro de la UE ha notificado a la Comisión, antes del 1 de enero de 2010, una previsión en la que se indica:

- Su estimación del exceso de producción de energía procedente de fuentes renovables con respecto a su trayectoria indicativa que podría transferirse a otros Estados miembros, así como su potencial estimado para proyectos conjuntos hasta 2020, y
- Su estimación de la demanda de energía procedente de fuentes renovables que deberá satisfacer por medios distintos de la producción nacional hasta 2020.

El Plan español de Energías Renovables 2011-2020

El Plan de Acción Nacional de Energías Renovables 2011-2020 se encuentra actualmente en proceso de elaboración, por lo que tanto el escenario como los objetivos para cada una de las tecnologías renovables durante este periodo pueden ser objeto de revisión.

Para la formación del escenario del mapa energético en 2020, se ha tenido en cuenta la evolución del consumo de energía en España, el alza de los precios del petróleo en relación a los mismos en la década de los noventa y la intensificación sustancial de los planes de ahorro y eficiencia energética.

Las conclusiones principales del informe notificado a la Comisión Europea son las siguientes:

- En una primera estimación, la aportación de las energías **renovables al consumo final bruto de energía sería del 22,7% en 2020—frente a un objetivo para España del 20% en 2020—**, equivalente a unos excedentes de energía renovable de aproximadamente de 2,7 millones de toneladas equivalentes de petróleo (tep).
- Como estimación intermedia, se prevé que en el año 2012 la participación de las energías renovables sea del 15,5% (frente al valor orientativo previsto en la trayectoria indicativa del 11,0%) y en 2016 del 18,8% (frente a al 13,8% previsto en la trayectoria).
- El mayor desarrollo de las fuentes renovables en España corresponde a las áreas de generación eléctrica, con una previsión de la **contribución de las energías renovables a la generación bruta de electricidad del 42,3% en 2020**.

Consumo español de Renovables y su aportación en la Energía Final (Metodología Comisión Europea)

| CONSUMO FINAL DE ENERGÍAS RENOVABLES (en ktep) | 2008 | 2012 | 2016 | 2020 |
|--|--------|--------|--------|--------|
| Energías renovables para generación eléctrica | 5.342 | 8.477 | 10.682 | 13.495 |
| Energías renovables para calefacción/refrigeración | 3.633 | 3.955 | 4.740 | 5.618 |
| Energías renovables en transporte | 601 | 2.073 | 2.786 | 3.500 |
| Total en Renovables en ktep | 9.576 | 14.504 | 18.208 | 22.613 |
| Total en Renovables según Directiva | 10.687 | 14.505 | 17.983 | 22.382 |

| CONSUMO DE ENERGÍA FINAL (en ktep) | 2008 | 2012 | 2016 | 2020 |
|-------------------------------------|---------|--------|--------|--------|
| Consumo de energía bruta final | 101.918 | 93.321 | 95.826 | 98.677 |
| % Energías Renovables/Energía Final | 10.5% | 15.5% | 18.8% | 22.7% |

España hace saber en el informe enviado a Bruselas que está interesada en aprovechar las oportunidades que ofrecen los mecanismos de flexibilidad recogidos en la Directiva, en especial las transferencias estadísticas basadas en acuerdos bilaterales y proyectos conjuntos con terceros países.

No obstante, para el aprovechamiento de los excedentes de energía renovable estimados, sobre los que España puede obtener significativos beneficios por su transferencia mediante los mecanismos de flexibilidad previstos en la Directiva, y habida cuenta que alrededor de dos tercios de la generación eléctrica renovable en 2020 se estima sea de carácter no gestionable, resulta indispensable un mayor **desarrollo de las interconexiones eléctricas de España con el sistema eléctrico europeo**, circunstancia sobre la que se ha llamado especial atención en el informe remitido a Bruselas.

En un seminario, organizado por IDAE y Eufores en el que participan diputados, responsables autonómicos y Empresas de Servicios Energéticos

Se presenta en Madrid el proyecto europeo del Observatorio de Eficiencia Energética

- **El objetivo principal del Observatorio es promover la eficiencia energética en Europa mediante el análisis de las distintas estrategias nacionales y la promoción de las buenas prácticas que éstas contienen.**
- **El Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética de España habilita un promedio anual de 448 millones de euros para medidas de ahorro y eficiencia energética.**

25/02/2010.- En un seminario organizado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio a través del IDAE y EUFORES, al que han sido convocados los diputados de la Comisión de Industria, Turismo y Comercio del Congreso de los Diputados, responsables autonómicos de la ejecución junto al Gobierno de los Planes de Acción de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética para España y Empresas de Servicios Energéticos, hoy se ha presentado en Madrid el Observatorio de Eficiencia Energética (Energy Efficiency Watch – EEW).

El Observatorio de Eficiencia Energética es un proyecto coordinado por EUFORES y promovido por Energía Inteligente – Europa. Su objetivo es promover la eficiencia energética a nivel europeo a través de la promoción de buenas prácticas. Para ello, el Observatorio ha hecho una evaluación en profundidad de los Planes nacionales de Acción de los diferentes países miembros, presentados en el marco de la Directiva 2006/32/EC sobre uso final de la energía y servicios energéticos.

La presentación en Madrid se encuadra en una gira europea que está llevando a cabo EUFORES, red de parlamentarios nacionales y regionales de los distintos países de la Unión que tiene como objetivo impulsar el uso creciente de energías renovables y eficiencia energética.

España

La eficiencia energética constituye uno de los pilares fundamentales de la política energética española.

Nuestro país cuenta con una Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en la que se inscriben sucesivos Planes de Acción : el 2005-2008 y el 2008-2012, actualmente en vigor, a los que se sumará un nuevo Plan para afrontar, con nuevas medidas, los retos que nos permitan alcanzar el objetivo de mejorar la eficiencia energética en un 20% en el año 2020, según ha fijado la Directiva 2006/32/EC sobre uso final de la energía y servicios energéticos, para los países miembros.

Por otro lado, el anteproyecto de Ley de Economía Sostenible aprobado por el Consejo de Ministros el pasado día 27 de noviembre, fija un objetivo de ahorro de energía del 20% para el año 2016.

Para lograrlo el Consejo de Ministros aprobó el pasado mes de diciembre un Plan de Activación de la Eficiencia Energética en los Edificios de la Administración General de Estado el cual pretende, además, estimular, por un lado, la creación de un mercado para las empresas de servicios energéticos, cuya definición es incorporada al ordenamiento jurídico español en el mencionado anteproyecto de ley; y, por otro, hacer visible y ejemplarizante el compromiso público con la eficiencia energética.

448 millones de euros anuales

El Plan de Acción español instrumenta una amplia batería de medidas dirigidas a todos los sectores consumidores de energía final e, incluso, al propio sector transformador, en el caso de la cogeneración. Cabe destacar que este Plan habilita, un promedio anual de 448 millones de euros para las medidas de ahorro y eficiencia energética, provenientes tanto de los Presupuestos Generales del Estado, de las tarifas reguladas de electricidad y de acceso de terceros a redes de gas, así como de los presupuestos autonómicos.

Dichas medidas son gestionadas conjuntamente por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, a través del IDAE, y las Comunidades Autónomas.